



République Algérienne démocratique populaire

Ministère d'Enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université d'Oran 2

Faculté des des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département des Sciences de la Terre

## ***Mémoire***

**Présenté pour l'obtention du Diplôme De Master**

**En Hydrogéologie**

**Option : Hydrosystèmes et Ressources en Eau**

***ETUDE DES CARACTERISTIQUES  
HYDROSYSTEMIQUES DU GRAND  
BASSIN VERASANT DE L'OUED EL  
MALEH ,ALGERIE NORD -OUEST***

**Présenté Par :**

**Mr ZAHAF Houari**

Devant le jury composé de :

Mme. BAKHTI Amel	Université d'Oran 2	Président
Mr. FOUKRACHE Mohamed	Université d'Oran 2	Encadreur
Mme .BELKHEIR Khadija	Université d'Oran 2	Examinatrice

Année universitaire :2020/2021

## Remerciements

Nous remercierons tous d'abord ALLAH qui nous a donné la puissance pour terminer ce travail.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur Mr FOUKRACHE Mohamed pour son suivi et pour son énorme soutien, qu'il n'a cessé de nous prodiguer tout au long de la période du projet.

J'adresse aussi mes vifs remerciements à Mme Bakhti Amel pour son encouragement et qui m'a fait l'honneur de présider mon jury et accepter bien vouloir juger ce travail.

Je remercie également Mme BELKHIR Khadîdja pour son soutien dans ce travail .

Je remercie monsieur BOUZID Rabah chef de département des sciences de la terre pour ses encouragements.

Et Nous remercierons tous les enseignants du département de Science de la terre.

## **DEDICACE**

**JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL :**

**À MES PARENTS ET MA FEMME QUI M'ONT DONNÉ TOUTE  
L'AFFECTION ET LE COURAGE DURANT TOUTE MA VIE.**

**À MES FRÈRES, ET SŒURS**

**À TOUTE LA FAMILLE, ZAHAF**

**À MES AMIS**

**ET TOUS CEUX QUI ONT PARTAGÉ MA JOIE, MA PEINE ET  
TOUTES LES PROMOS 2020**

**AINSI QUE LES PERSONNES QUI ONT CONTRIBUÉ DE PRÉS  
OU DE LOIN QU'IL TROUVE ICI LE TÉMOIGNAGE DE MA  
GRATITUDE.**

**MERCI À TOUS**

***ZAHAF Houari***

## **Table des matières**

<b>Introduction générale.....</b>	<b>P 1</b>
<b>Chapitre 1 caractéristique physique .....</b>	<b>P1</b>
<b>1- Cadre géographique et morphologie générale.....</b>	<b>P 2</b>
<b>2- Situation géographique et délimitation du bassin.....</b>	<b>P 2</b>
<b>3- Aperçu géologique.....</b>	<b>P 5</b>
<b>3.1- Aspect lithostratigraphique de la région d'étude.....</b>	<b>P 6</b>
<b>.3.1.1 - Le Complexe de triasique .....</b>	<b>P 7</b>
<b>3.1.2 - Le Miocène .....</b>	<b>P 8</b>
<b>3.1.3 - Le Plio-quaternaire .....</b>	<b>P 8</b>
<b>3.1.4 - Formation marines .....</b>	<b>P 8</b>
<b>3.1.5 - Formations continentales.....</b>	<b>P 8</b>
<b>A. Le Pliocène.....</b>	<b>P 8</b>
<b>B. Formations antérieures à la croûte ancienne.....</b>	<b>P 8</b>
<b>C. Glacis encrouté ancien et terrasse supérieure.....</b>	<b>P 8</b>
<b>3.1.6 - Le volcanisme .....</b>	<b>P 9</b>
<b>A. Les Tufs.....</b>	<b>P 9</b>
<b>B. Les Brèches .....</b>	<b>P 9</b>
<b>C. Les Coulées.....</b>	<b>P 9</b>
<b>4 - Principaux sous bassins versants d'Oued El Maleh .....</b>	<b>P 10</b>
<b>5 - Caractéristiques morphométriques.....</b>	<b>P 11</b>
<b>5.1 - Surface et Périmètre du bassin.....</b>	<b>P 11</b>
<b>5.2 - Forme du bassin.....</b>	<b>P 12</b>
<b>5.3 - Rectangle équivalent.....</b>	<b>P 12</b>

<b>5.4 - Étude du relief.....</b>	<b>P 13</b>
<b>5.4.1- Hypsométrie du bassin.....</b>	<b>P 13</b>
<b>5.4.1.2 - Carte hypsométrique.....</b>	<b>P 14</b>
<b>5.4.1.3 - Courbe hypsométrique.....</b>	<b>P 15</b>
<b>5.4.2 - Altitudes caractéristiques.....</b>	<b>P 15</b>
<b>5.4.3 - Pente moyenne du bassin versant.....</b>	<b>P 16</b>
<b>5.4.4 - Indice global de pente.....</b>	<b>P 17</b>
<b>5.4.5 - Dénivelée spécifique "DS".....</b>	<b>P 17</b>
<b>5.5 - Étude du réseau hydrographique (fig.6- ).....</b>	<b>P 18</b>
<b>5.5.1 - Classification du réseau hydrographique.....</b>	<b>P 19</b>
<b>5.5.2 - Pente moyenne du cours d'eau principal.....</b>	<b>P 21</b>
<b>5.5.3 - Densité de drainage.....</b>	<b>P 22</b>
<b>5.5.4 - Densité hydrographique.....</b>	<b>P 23</b>
<b>5.5.5 - Rapport de confluence.....</b>	<b>P 23</b>
<b>5.5.6 - Temps de concentration des eaux du bassin.....</b>	<b>P 25</b>
<b>5.5.7 - Coefficient de torrentialité.....</b>	<b>P 26</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>P 26</b>

## **CHAPITRE II - HYDROCLIMATOLOGIE**

<b>1 - Étude des Précipitations.....</b>	<b>P 27</b>
<b>1.1 - Répartition des précipitations moyennes annuelles.....</b>	<b>P 28</b>
<b>1.2 - Répartition des précipitations moyennes mensuelles.....</b>	<b>P 29</b>
<b>1.3 - Répartition des précipitations saisonnières .....</b>	<b>P 30</b>
<b>2 - Étude des températures.....</b>	<b>P 31</b>
<b>3 - Étude du climat.....</b>	<b>P 31</b>
<b>3.2 - Indices climatiques.....</b>	<b>P 32</b>

3.2.1 - Indice d'aridité de De Martonne.....	P 33
3.2.2 - Indice de Moral.....	P 35
3.2.3 – Représentation des résultats.....	P 36
4 - Evaporation et déficit d'écoulement.....	P 36
4.1 - Méthode de Turc.....	P 37
4.2 - Méthode de Coutagne.....	P 37
4.3 - Méthode de Thornthwaite.....	P 38
4.4 - Méthode de Wundt.....	P 39
4.5 - Méthode de P. Verdeil .....	P 41
5 – Eléments du bilan hydrologique.....	P 42
5.1 – Bilan de Thornthwaite.....	P 42
5.2 - Estimation du ruissellement.....	P 43
5.3 - Détermination de l'infiltration.....	P 43
Conclusion.....	P 44
6 - Régime hydrologique.....	P 45
6.1 - Variation des débits moyens annuels.....	P 45
6.2 - Variation des débits saisonniers .....	P 46
6.3 – Relation précipitations-débits.....	P 47
6.4 - Relation pluie-niveau piézométrique.....	P 47

## **CHAPITRE 3 - HYDROGEOLOGIE**

1 - Identification des aquifères.....	P 51
1.1 - Aquifère des alluvions Quaternaires.....	P 51
1.2 - Aquifère des basaltes Plio-Quaternaires.....	P 51

1.3 - Aquifère des sables et grès du Pliocène.....	P 52
1.4 - Aquifère des calcaires du Miocène supérieur .....	P 52
1.5 - Aquifère des calcaires et grès de l'Oligo-Miocène.....	P 52
1.6 - Aquifère liasique.....	P 53
2 – Piézométrie.....	P 53
3 – Caractéristiques hydrodynamiques.....	P 55
3.1 - Essai par paliers.....	P 56
3.1.1 - Représentations graphiques et interprétations.....	P 56
- Les pertes de charge.....	P 57
3.2 – Essai de nappe.....	P 58
3.2.1 - Représentation graphique des données et interprétation.....	P 58
Conclusion.....	P 59
4 – Cadre hydrochimique.....	P 60
4.1 - Caractéristiques physicochimiques.....	P 62
4.1.1 - Paramètres physiques.....	P 62
A. Eaux souterraines.....	P 62
B. Eaux superficielles.....	P 63
4.2 - Paramètres chimiques.....	P 63
4.2.1 - La balance ionique.....	P 63
4.2.2 - Eléments majeurs.....	P 63
4.2.2.1 - Eaux souterraines.....	P 63
4.2.2.2 Eaux superficielles.....	P 65
4.3 - Détermination des faciès chimiques.....	P 66
4.3.1- Représentation graphique des faciès chimiques.....	P 68
Conclusion générale .....	P 73



# INTRODUCTION

---

## INTRODUCTION

L'étude menée à l'échelle du grand bassin versant de l'oued El-Maleh s'est réalisée dans une perspective hydrosystémique en prenant en considération les caractéristiques du milieu physique, le comportement hydroclimatologique et l'aspect hydrogéologique.

Le premier chapitre a été consacré principalement à la détermination des caractéristiques morphométriques du bassin de l'oued El-Maleh. Celles-ci conditionnent la distribution des eaux superficielles et souterraines et leurs interconnexions mutuelles au niveau du système hydrologique du bassin considéré.

Par la suite en abordant le chapitre hydroclimatologique, on s'est basé sur les données climatiques afférant à une série d'observations assez représentative ; cela nous a permis de préciser le climat régnant dans le bassin et d'en déduire les différents termes du bilan hydrologique. Ce volet a été épaulé par l'étude d'une série de débits mesurés à l'exutoire du bassin pour préciser son régime hydrologique. Ces données hydrométriques ont été confrontées aux apports par les précipitations et l'évolution des fluctuations du niveau piézométrique des nappes pour déterminer les interférences entre les eaux superficielles et l'état dynamique des niveaux aquifères.

Le troisième chapitre s'est axé tout d'abord sur l'identification des principaux aquifères et leurs interconnexions ; ainsi que leur relation réciproque directe avec les eaux de surface véhiculées par l'oued El-Maleh. Par la suite, un volet sur le contexte hydrochimique a été tenté afin de compléter l'aspect des interférences entre les deux milieux souterrain et superficiel ; aussi en mettant en parallèle les variétés de faciès chimiques des eaux souterraines et des eaux de surface on s'est efforcé de confirmer l'influence du réseau superficiel sur le comportement hydrodynamique des aquifères centrés sur le bassin.

**CHAPITRE 1 - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES****1- Cadre géographique et morphologie générale**

La Zone d'étude fait partie de la région d'Ain - Temouchent qui est limitée :

- Au Nord par la mer méditerranéenne
- A l'Ouest par les monts des Trara.
- Au Sud-Ouest par la plaine de la Mleta
- Au Sud -Est par les Monts des Tessala.

La région d'Ain - Temouchent comprend (03) Trois ensembles naturels qui sont les suivants :

- a- Le Plateau de Ghamra : ce plateau présente un ensemble tabulaire Néogène incliné vers la sebkha prolongeant le sahel d'Oran vers l'Ouest et dominant la sebkha au Nord-Ouest. Cet ensemble est dilacéré par un chevelu d'Oueds.
- b- Le Plateau d'Ain Temouchent-Benisaf, qui présente une vaste étendue Néogène à travers laquelle percent des ilots secondaires qui créent des accidents imprévus sur une topographie généralement très calme. L'ensemble est interrompu par des vallées d'Oueds. Une ligne de hauts reliefs côtiers d'âge Secondaire, forme des ilots séparés par des étendues de terrains Néogène et par des appareils volcaniques.
- c- Plaine de Sebaa-Chioukh d'orientation Est-Ouest elle est prolongée par les monts des Tessala qui constituent une limite naturelle méridionale bien marquée au niveau du plateau d'Ain-Temouchent dont le sommet principal culmine à 684 m d'altitude.

**2- Situation géographique et délimitation du bassin**

Le Bassin versant d'Oued El Maleh est situé dans la partie Nord-Ouest du territoire national (Fig. 1). Il s'agit d'un bassin à type de drainage exoréique.



Fig. 1 – Schéma de localisation du bassin versant de l’oued El-Maleh

Le bassin versant de l’oued El-Maleh est délimité par la mer méditerranéenne au Nord, par les Montagnes des Berkeches au sud, par les montagnes de Sbaa El Chioukh, au Sud-Ouest, par les Monts des Tessala et au Sud-Est, par la plaine de la Mleta (fig. 2).

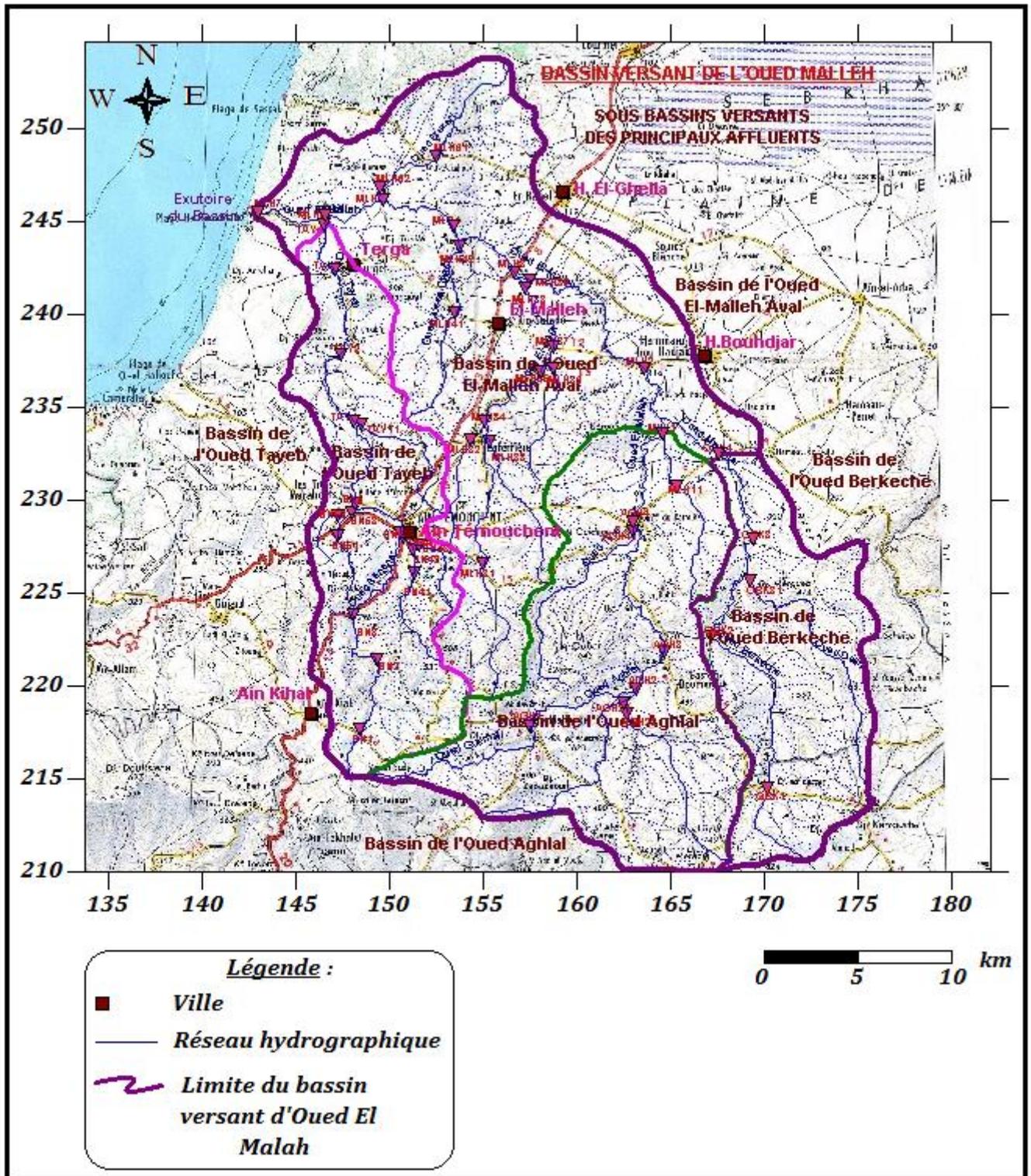


Fig. 2 - Délimitation du bassin versant d'Oued El Maleh (H.P.O, 2005)

### 3 – Aperçu géologique

La région d'Aïn Temouchent appartient au domaine tellien, caractérisé par une succession de nappes de charriages, dont les racines se situeraient à l'emplacement de la méditerranée actuelle. Après la mise en place des nappes, une alternance de transgressions et régressions marines devait donner une succession de dépôts marins et continentaux. Ces dépôts sont couronnés du Miocène post-nappe au Quaternaire. L'activité volcanique est apparue après l'épisode post-nappe (Mio-plio-quaternaire) (B.Hallouche, 1986).

L'Analyse litho stratigraphique s'est basée sur une synthèse des résultats des études effectuées par plusieurs auteurs (B. Fénet 1975, P. Guardia 1975, Megastsi 1982, G. Thomas 1985, M. I .Hassani 1987 et H Mansour 1989). En somme Deux Types de Terrains caractérisent la région.

- Les terrains Allochtones représentés par des unités charriées de type telliennes et rifaines (Photos 01)



Photos 01 Aperçu Géologique- Affleurement para-autochtone du Nord d'Ain- Temouchent

- Les terrains autochtones formés par le para-autochtone secondaire des dépôts sédimentaires d'âge Mio-Plio-Quaternaire, et un volcanisme Néogène.

Le contexte géologique de la région d'Ain Temouchent se résume comme suit :

- La transgression miocène synchro-nappe qui a affecté la région entre Témouchent et les Monts de Tlemcen donnant naissance à un vaste bassin de sédimentation dont les reliefs sont d'âge Primaire et Mésozoïque. Cette fosse dite » synchro-nappe » d'âge Miocène a été le siège d'accumulations d'épaisses séries marno – gréseuses, c'est vers elle que se déplaçaient

les nappes de charriages dont les racines se situent à l'emplacement de la méditerranée actuelle.

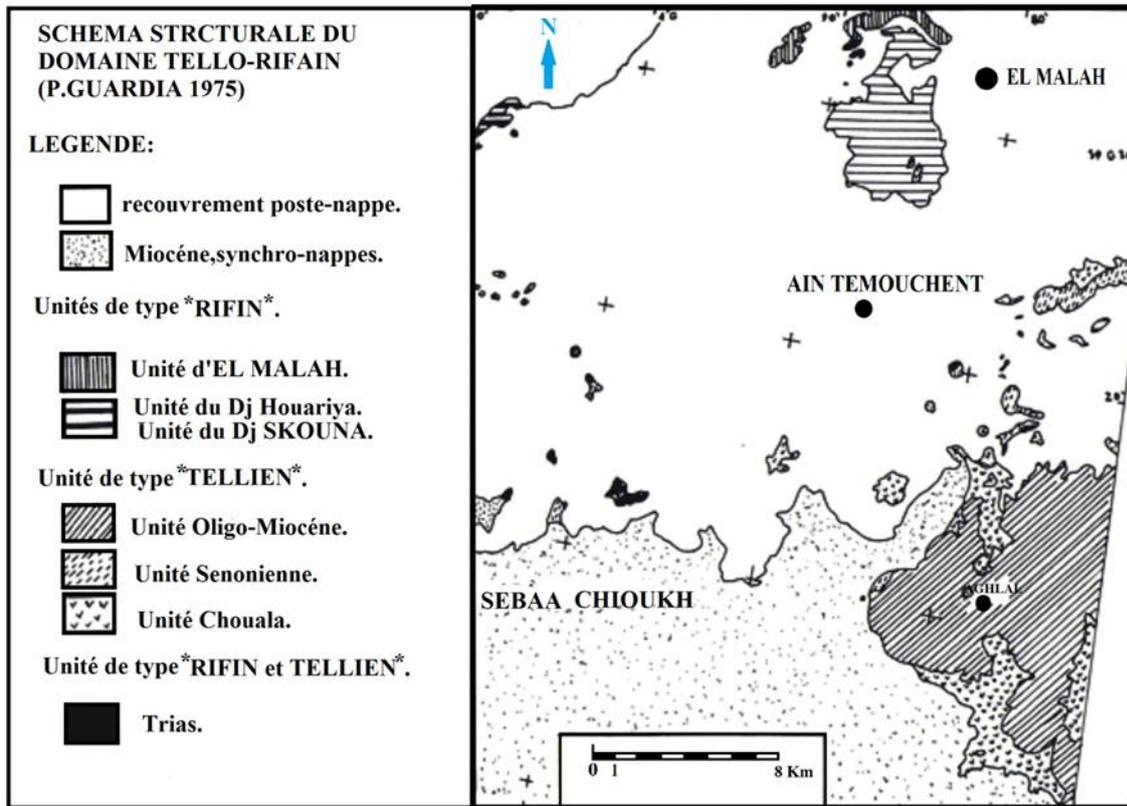
- les apports détritiques proviennent soit des nappes de charriage, soit de l'autochtone représenté par les Monts de Tlemcen, massifs de Djebel Tounit et Necissa forment des zones émergées en pleine mer messénienne
- Les Unités Charriées se sont mises en place au cours de deux phases tectoniques paroxysmales, l'une intra lutétienne (Eocène moyen), l'autre Miocène. Ces formations constituent un matériel déplacé «allochtone » que l'on oppose au substratum « autochtone » de la région de Ain-Témouchent (fig.3).
- L'allochtone charrié est composé des unités de types rifaines et telliennes.
- Une alternance de transgression et régression marine après la mise en place des nappes traduites par les dépôts des formations marines ou continentales depuis le Miocène jusqu'au Quaternaire, puis l'apparition de l'activité volcanique au cours de cette épisode post-nappe constituant les massifs volcaniques d'Ain Temouchent.

### **3.1- Aspect lithostratigraphique de la région d'étude**

La zone d'étude fait partie du tell septentrional où affleure différentes formations géologiques du Paléozoïque et Mésozoïque.

Les affleurements para-autochtones se situent au Nord- Est d'Aïn Temouchent, dans le Douar Chentouf et près de Chaàbet El-Leham. Il est constitué par des pélites brunes ou rougeâtres, à minces lits de grès sombres ferrugineux d'âge callovo-oxfordien avec de rares niveaux de calcaires. Les terrains Allochtones représentés par des unités charriées de type telliennes .

rifain



es

Carte 1- : Schéma structural du Domaine Tello-Rifain. (p.GUARDIA 1975).

- Les terrains autochtones formés par le para-autochtone secondaire des dépôts sédimentaires d'âge moi-plio-quadernaire, et un volcanisme néogène.

**.3.1.1 - Le Complexe de triasique :**

C'est Un Ensemble chaotique de terrains Sédimentaires et éruptives. En Oranie , les matériaux du complexe triasique sont toujours en contact anormal avec les terrains antérieurs au Miocène post nappe.

Le Trias des unités d'El Maleh présente la semelle de l'Unité ( Dj. Sidi Kacem, Dj Mendjel, Dj Tounit ) Fig .3.

Le trias des unités telliennes est abondant en semelle , et au sein des unités de chouala et sénonienne ( carte n°5) les divers éléments du complexe sédimentaires et volcanique sont emballés dans une matrice gypseuse plus rarement de sel gemme ( pierre de sel ) .

### 3.1.2 - Le Miocène :

Au même moment où se font le dernier glissement Tello-rifains au Sud, un nouveau bassin complexe s'installe au Nord sur les nappes de la bordure septentrionale de celle, les dépôts du 1er cycle miocène poste nappe.

Puis une nouvelle érosion suivie d'une transgression déposant le miocène terminal, elle est dite « Méssinienne ». A cette époque commence à se développer le volcanisme.

Le Miocène est constitué en grande partie de marnes, jouant parfois le rôle du substratum des aquifères gréseux et sableux plio-quadernaire (Terga-Sassel).

### 3.1.3 - Le Plio-quadernaire :

#### 3.1.4 - Formation marines :

A- Premier Cycle Pliocène : Ce Premier cycle a été marqué par la régression de la mer Méssinienne en sorte que le rivage du pliocène présente sensiblement les mêmes limites que le rivage actuel.

B- Second Cycle Plio-quadernaire : Correspond aux formations détritiques alternant avec des niveaux littoraux, entre l'embouchure de l'Oued El Maleh et Le Maroc. Ce sont dans tous les cas des grès calcaires.

#### 3.1.5 - Formations continentales

##### A. Le Pliocène

Il s'agit d'une épaisse série de sédiments fins de couleur rouge qui surmonte les calcaires messiniens du Djebel Kéroulis (Djebel El Maïda), bien visible en bordure d'Oued El Malah à mi-chemin entre Chaabet El Leham et Hammam Bouhdjar. Ces dépôts plongent actuellement vers la Sebkha d'Oran.

##### B. Formations antérieures à la croûte ancienne

Vers l'embouchure d'Oued El Hallouf, on aperçoit des sables fins rubéfiés à "Hélix" de couleur rouge recouvrant des grès dunaires du deuxième cycle miocène marin. Dans cette région, les sables fins à "Hélix" sont recouverts par des dépôts volcaniques dont la phase principale d'éruption est post-calabrienne et antérieure aux encroûtements calcaires (B.Hallouche, 1986).

##### C. Glacis encroûté ancien et terrasse supérieure

A l'Est d'Aïn Temouchent, une croûte calcaire épaisse recouvre un glacis ancien et les bas de pentes qui s'y raccordent. Elle résulte d'un climat semi-aride où alternaient des pluies groupées et des longues périodes sèches (B.Hallouche, 1986).

### 3.1.6 - Le volcanisme

Dans la région d'Aïn Temouchent, la phase volcanique principale a été rapportée au Quaternaire. Ces coulées ont en général un substratum miocène supérieur ou villafranchien (Oued El Hallouf). Les émissions volcaniques du plateau néogène d'Aïn Temouchent couvrent une surface de 450 km<sup>2</sup> entre Chaabet El Leham, le Djebel de Sidi Kassem et Ain Kihal du Nord au Sud et entre l'Oued Souf et Tell et Sidi Safi de l'Est à l'Ouest (B.Hallouche, 1986). Bien que l'érosion ait été intense, elle est restée régulière, le réseau hydrographique est peu imprimé dans la topographie et les appareils volcaniques sont en général bien conservés (volcan de Sidi Ben Adda 304m). La cuvette basaltique de Chaabet El Leham doit être apparemment attribuée à des épanchements fissuraux locaux.

#### A. Les Tufs

Les premières manifestations responsables de la formation des anneaux (Anneau de Bengana) de tufs sont de type phréatomagmatiques. D'après leur origine.

#### B. Les Brèches

On distingue des brèches de base ou de sommet de coulées et des brèches stromboliennes (B.Hallouche, 1986):

#### C. Les Coulées

Les coulées et les amas de roches pyroclastiques du massif d'Aïn Temouchent occupent de vastes étendues de très faible pente, légèrement inclinées vers la mer de direction du Sud au Nord. Ces coulées sont massives, rarement prismées, de couleur sombre quand elles affleurent. En raison de leur fluidité, elles s'y accumulent dans les thalwegs en formant de vastes plateaux autour des cratères, les coulées ayant par ailleurs empreintes les lits des anciens Oueds entraînant une profonde transformation du réseau hydrographique (B.Hallouche, 1986). Les produits de projection sont surtout des scories de laves basiques renfermant des nodules à olivine, de gros cristaux d'augite et parfois des enclaves constituées de "bombes à hornblende, nodules à olivine, fragments de gneiss à sillimanite", de même que l'absence des feldspaths.

**5 - Principaux sous bassins versants d'Oued El Maleh :**

Il est scindé en quatre grands sous-bassins élémentaires (fig. 3) correspondant à la surface d'alimentation des affluents se jetant dans le cours d'eau principal ; ce sont :

- Le bassin d'Oued El Maleh aval d'une superficie de 335km<sup>2</sup>
- Le bassin d'Oued Aghlal d'une superficie de 241km<sup>2</sup>.
- Le bassin d'Oued Tayeb d'une superficie de 162km<sup>2</sup>.
- Le bassin d'Oued Berkeche d'une superficie de 135km<sup>2</sup>.

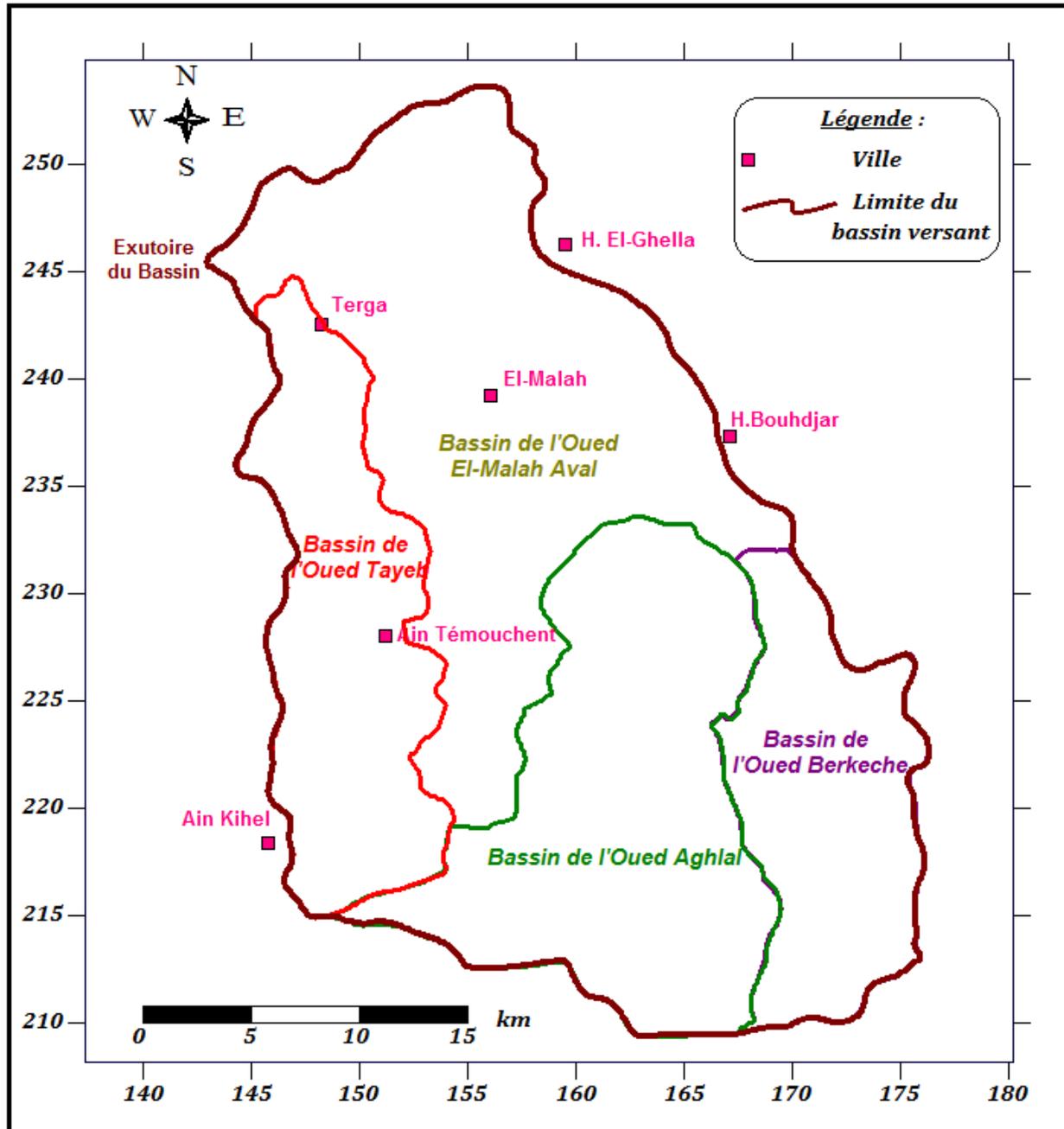


Fig. 3 - Délimitation des principaux sous bassins d'Oued El Malah (H.P.O , 2005).

## 6 - Caractéristiques morphométriques

### 6.1 - Surface et Périmètre du bassin

La superficie et le périmètre du bassin versant d'Oued El Maleh ont été déterminés sur la carte topographique au 1/100 000 par digitalisation des contours de ce dernier.

- Superficie : 873 km<sup>2</sup>.
- Périmètre : 138 km.

## 6.2 - Forme du bassin

La forme du bassin versant peut avoir des conséquences hydrologiques importantes, notamment la relation pluie-débit et l'évolution des écoulements en période de crue. Autrement dit la forme d'un bassin versant a une influence sur la forme des hydrogrammes. L'indice admis par les hydrologues pour caractériser la forme d'un bassin versant est l'indice de compacité de GRAVELIUS (1914)  $K_C$  qui est défini comme le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle ayant la même surface :

$$K_C = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

Avec :

$K_C$  : Indice de compacité de Gravelius.

P : Périmètre du bassin en km.

A : Surface du bassin en km<sup>2</sup>.

Le coefficient  $K_C$  est supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée et proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire.

P= 138 km et A= 873 km<sup>2</sup>.

$K_C = 1,32$

Sur le plan morphologique, la valeur élevée de ( $K_C = 1,32$ ) traduit un allongement moyen du bassin versant d'Oued El Maleh. Cette forme induit de faibles débits de pointe de crue.

## 6.3 - Rectangle équivalent

Le bassin versant rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre (ou le même coefficient de compacité) et donc par conséquent la même répartition hypsométrique, les courbes de niveau deviennent des droites parallèles au petit côté du rectangle.

Cette notion a été introduite pour pouvoir comparer des bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement.

Soit "L" et "l" la longueur et la largeur du rectangle équivalent exprimées en km, "A" l'aire du bassin versant exprimé en km<sup>2</sup>, et  $K_C$  l'indice de Gravelius.

On a :

$$L = \frac{K_C \cdot \sqrt{\pi A}}{2} \cdot \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{2}{\sqrt{\pi} K_C} \right)^2} \right) \text{ avec } K_C \geq \frac{2}{\sqrt{\pi}}$$

$$l = \frac{K_C \cdot \sqrt{\pi A}}{2} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2}{\sqrt{\pi} K_C} \right)^2} \right) \text{ avec } K_C \geq \frac{2}{\sqrt{\pi}}$$

$K_C = 1,32$  et  $A = 873,45 \text{ km}^2$ .

$L = 52,5 \text{ km}$  ;  $l = 16,6 \text{ km}$ .

#### 6.4 - Étude du relief

Le relief joue un rôle important dans le comportement hydrologique du bassin versant. En effet, plus la pente du terrain est forte, plus le ruissellement est important, induisant un temps de concentration des eaux plus court et une infiltration plus faible, ce qui provoque la formation des crues.

##### 6.4.1- Hypsométrie du bassin

Partant de la répartition par tranches d'altitudes du bassin versant d'Oued El Maleh, nous avons pu établir la courbe hypsométrique et le diagramme des fréquences altimétriques.

La répartition des surfaces partielles ( $A_i$ ) par tranches d'altitudes du bassin versant s'effectue à partir d'une carte topographique par mesure des aires situées entre deux courbes de niveau successives (tableau n°1).

Tab.1- : Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued El Maleh.

Tranches d'altitudes (m)	$A_i$ (km <sup>2</sup> )	$A_i$ (%)	$A_i$ cumulées (km <sup>2</sup> )	% cumulés $A_i$
0 - 50	35,24	4,034	873,45	100
50 - 100	107,5	12,31	838,21	95,966
100 - 150	106,4	12,18	730,68	83,655
150 - 200	86	9,846	624,33	71,479
200 - 250	81,27	9,304	538,34	61,634
250 - 300	59,24	6,782	457,07	52,329
300 - 350	49,94	5,717	397,83	45,547
350 - 400	47,69	5,461	347,89	39,83
400 - 450	57,35	6,566	300,2	34,369
450 - 500	57,71	6,607	242,85	27,804
500 - 550	61,62	7,055	185,14	21,197
550 - 600	58,95	6,749	123,52	14,142
600 - 650	36,85	4,219	64,572	7,3927
650 - 700	16,54	1,894	27,721	3,1738
700 - 750	7,358	0,842	11,178	1,2797
750 - 800	2,611	0,299	3,8201	0,4374
> 800	1,209	0,138	1,2094	0,1385

### 6.4.1.2 - Carte hypsométrique

Nous disposons d'une carte hypsométrique (fig.4) donnant une idée sur la distribution hypsométrique. Celle-ci présente une importance capitale pour les études hydrologiques du fait que la plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont influencés par l'altitude. Cette carte met en évidence la répartition différentielle des tranches d'altitudes en montrant que la tranche comprise entre 50 et 300m couvre plus de 50% de la surface totale du bassin, cette partie est caractérisée par une pente assez faible tandis que vers l'amont, les tranches d'altitudes sont plus serrées mettant en évidence des dénivellations et des pentes importantes.

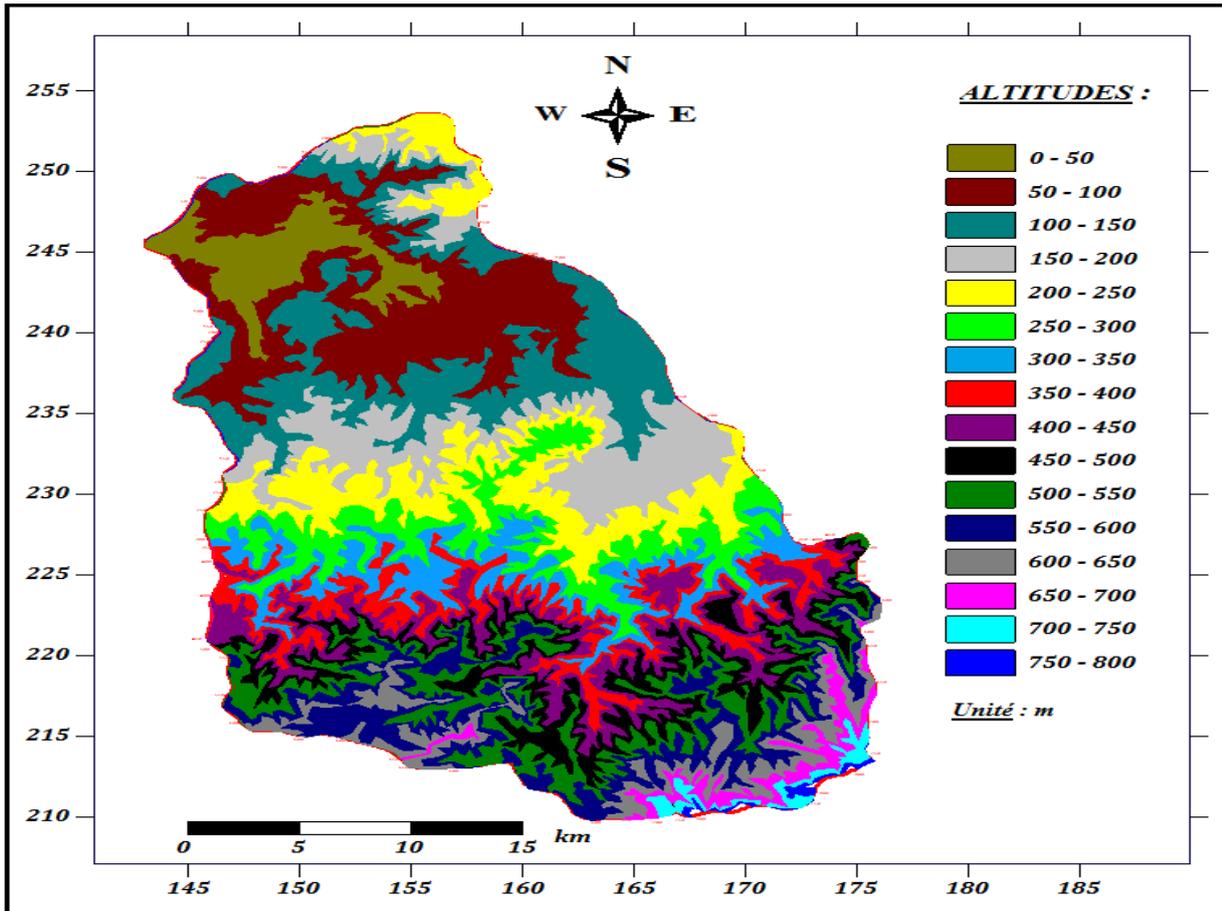
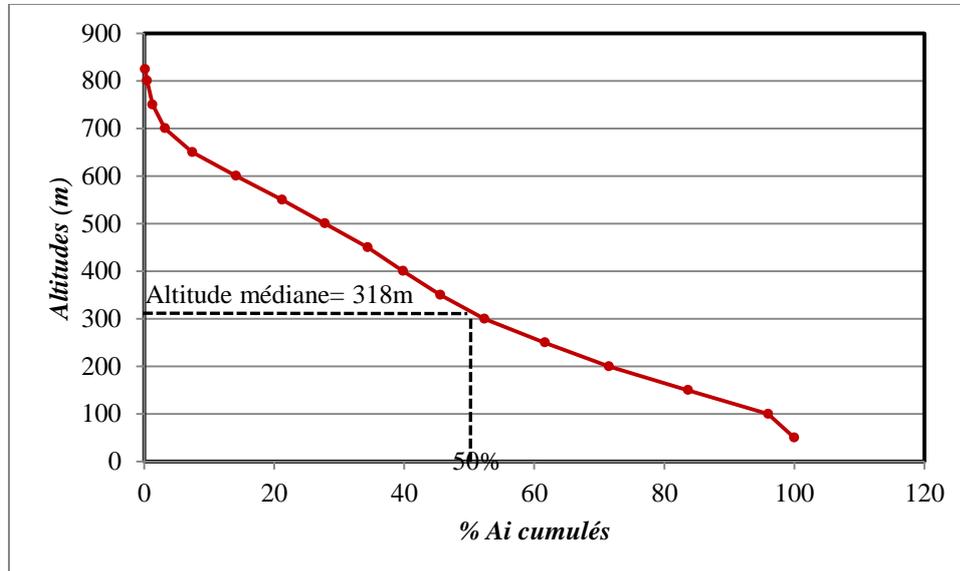


Fig. 4 - Carte hypsométrique du bassin versant d'Oued El Maleh (H.P.O , 2005).

### 6.4.1.3 - Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude.



**Fig. 5 - Courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued El Maleh.**

La courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued El Maleh (fig. 5) est de forme concave, ce qui indique que le bassin est en état de maturité (équilibre). Elle montre une accentuation progressive des altitudes vers l'amont et vers le point culminant au fur et à mesure que les pourcentages des surfaces cumulé diminuent.

### 6.4.2 - Altitudes caractéristiques

#### A. Altitude moyenne

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit:

$$H_{moy} = \frac{\sum A_i \cdot h_i}{A}$$

$H_{moy}$ : Altitude moyenne du bassin (m).

$A_i$ : Aire comprise entre deux courbes de niveau (km<sup>2</sup>).

$h_i$ : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m).

$A$ : Superficie totale du bassin versant (km<sup>2</sup>).

$A = 873,45 \text{ km}^2$ .

Tab. 2 - Calcul de l'altitude moyenne du bassin versant d'Oued El Maleh.

Tranches d'altitudes (m)	$A_i$ (km <sup>2</sup> )	$h_i$ (m)	$A_i \cdot h_i$ (m.km <sup>2</sup> )	$\frac{A_i \cdot h_i}{A}$ (m)
0 - 50	35,24	25	880,979	1,00862
50 - 100	107,5	75	8064,22	9,23264
100 - 150	106,4	125	13293,8	15,2199
150 - 200	86	175	15049,4	17,2299
200 - 250	81,27	225	18285,6	20,935
250 - 300	59,24	275	16290,9	18,6513
300 - 350	49,94	325	16229	18,5805
350 - 400	47,69	375	17885,5	20,4769
400 - 450	57,35	425	24372,2	27,9035
450 - 500	57,71	475	27412,1	31,3838
500 - 550	61,62	525	32351,6	37,0391
550 - 600	58,95	575	33895,3	38,8064
600 - 650	36,85	625	23031,5	26,3685
650 - 700	16,54	675	11166,8	12,7848
700 - 750	7,358	725	5334,3	6,10718
750 - 800	2,611	775	2023,28	2,31644
> 800	1,209	812	982,049	1,12434
				Somme = 305,2

D'après le tableau n°2,  $H_{moy} = \sum \frac{A_i \cdot h_i}{A} = 305,2m$ .

### B. Altitude médiane

C'est l'altitude lue sur la courbe hypsométrique, au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière.

D'après la courbe hypsométrique (fig. 5), l'altitude médiane du bassin d'Oued El Maleh est égale à 318 m.

### 6.4.3 - Pente moyenne du bassin versant

La pente moyenne donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct - donc sur le temps de concentration - et influence directement le débit de pointe lors d'une averse.

Plusieurs méthodes ont été développées pour estimer la pente moyenne d'un bassin. Toutes se basent sur une lecture d'une carte topographique réelle ou approximative. La méthode proposée par Carlier et Leclerc (1964) consiste à calculer la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires comprises entre deux altitudes données. Une valeur approchée de la pente moyenne est alors donnée par la relation suivante :

$$i_m = \frac{D.L}{A}$$

Où:

$i_m$ : Pente moyenne (m/km ou % ).

$D$ : Équidistance entre deux courbes de niveau (m).

$L$ : Longueur totale des courbes de niveau (km).

$A$ : Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>).

Pour notre cas:

$A = 873,45 \text{ km}^2$  ,  $D = 50 \text{ m}$  ,  $L = 3262,12 \text{ km}$ .

Donc:  $i_m = [(50 \times 3262,12) \div 873,45] = 187 \text{ m/km}$ .

La pente moyenne (187 m/km) est forte, ce qui présente une faible durée de concentration des eaux de ruissellement dans les affluents.

Cette méthode de calcul donne de bons résultats, dans le cas d'un relief modéré et pour des courbes de niveau simples et uniformément espacées.

#### 6.4.4 - Indice global de pente

Sur la courbe hypsométrique, on déduit les altitudes  $H_{5\%}$  et  $H_{95\%}$  entre lesquelles s'inscrivent 90% de la surface du bassin, la dénivelée "D" est donc égale à  $H_{5\%} - H_{95\%}$ .

L'indice global est donné par la relation :

$$I_G = \frac{D}{L}$$

Où:  $D$ : Dénivelée (m).

$L$ : Longueur du rectangle équivalent (km).

$L = 52,513 \text{ km}$  ,  $H_{5\%} = 680 \text{ m}$  et  $H_{95\%} = 100 \text{ m} \Rightarrow$  La dénivelée  $D = 680 - 100 = 580 \text{ m}$ .

Donc:  $I_G = 580 \div 52,513 = 11 \text{ m/km}$ .

#### 6.4.5 - Dénivelée spécifique "D<sub>s</sub>":

La dénivelée spécifique donne une idée sur le relief d'un bassin versant d'après la classification de l'ORSTOM, elle est calculée par la formule suivante :

$$D_s = I_G \cdot \sqrt{A}$$

Avec:

$I_G$ : Indice global de pente (m/km).

A: Superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>).

$I_G = 11 \text{ m/km}$  et  $A = 873,50 \text{ km}^2$ .

Donc:  $D_S = 0.12 \times \sqrt{873,50} = 3.5 \text{ m}$ .

À partir de la dénivelée spécifique ( $D_S = 3,5 \text{ m}$ ) et en se référant au tableau ci-dessous, on constate que ce bassin versant est d'un relief fort.

**Tab.3- : Classement du relief à partir de la dénivelée spécifique selon la classification de l'ORSTOM.**

Relief	Valeur de $D_S$ (m)
Relief très faible	$D_S < 10$
Relief faible	$10 < D_S < 25$
Relief assez faible	$25 < D_S < 50$
Relief modéré	$50 < D_S < 100$
Relief assez fort	$100 < D_S < 250$
Relief fort	$250 < D_S < 500$
Relief très fort	$D_S > 500$

### 6.5 - Étude du réseau hydrographique (fig.6)

Il est à souligner que le réseau hydrographique du bassin versant d'Oued El Maleh (Figure.07) est relativement dense en amont du bassin pour drainer suffisamment les hautes montagnes des eaux précipitées, contrairement à la partie Nord où les terrains sont plus ou moins plats. L'évacuation des eaux sauvages s'effectue difficilement et particulièrement dans des zones riveraines qui, constituées de dépôts alluvionnaires, ont tendance à former des dépressions humides en périodes de crue.

En matière de ruissellement, le réseau hydrographique du bassin d'Oued El Maleh est constitué principalement de grandes artères fluviales. Il s'agit en fait d'Oued Tayeb qui, assez important, draine la partie occidentale du bassin dans les monts d'Ain Kihel (659 m), Oued Aghlal au Sud d'Aïn - Temouchent, qui longe la zone montagneuse au Sud du bassin (749 m) et ruisselle avec un faible tirant d'eau en période d'étiage suite à une alimentation en continue des résurgences latérales. Oued Berkeche à l'extrême Est du bassin qui, sur un parcours de 25 km de la crête (824 m) porte le nom de Metguer avant de venir grossir Oued El Maleh à l'amont immédiat de Hammam Bouhdjar. Ces deux derniers cours d'eau comme pour d'autres affluents (Oued Tine et Oued El-Ham), particulièrement de rive gauche, convergent tous en éventail pour former Oued El Maleh qui longe littéralement la plaine d'Aïn - Temouchent avant de collecter au dernier ressort Oued Tayeb près de l'exutoire à l'embouchure (Hydro Projet Ouest , 2005)

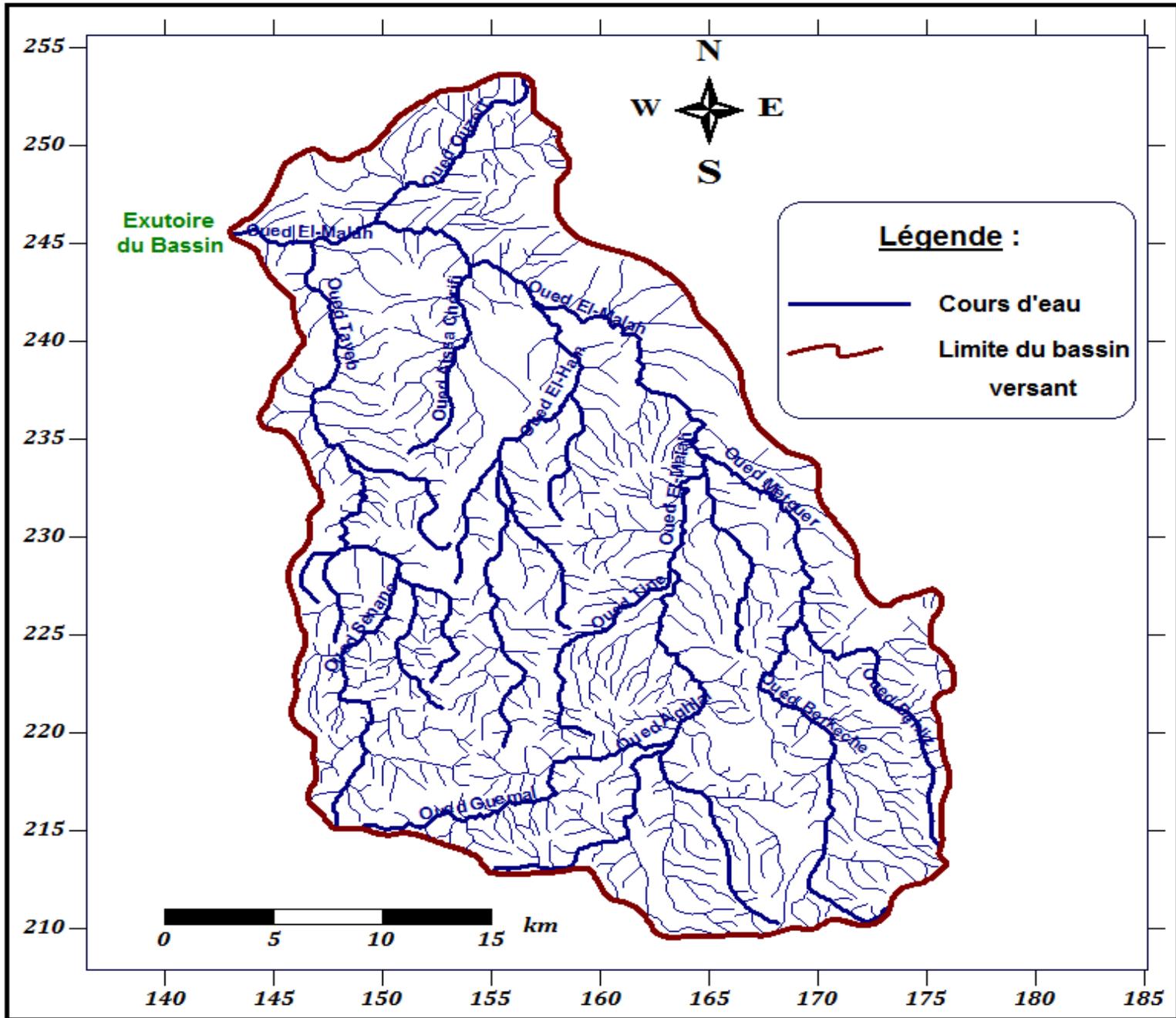


Fig. 6 - Réseau hydrographique du bassin versant d'Oued El Maleh (H.P.O , 2005).

**6.5.1 - Classification du réseau hydrographique**

La détermination des caractéristiques du réseau hydrographique est basée sur la méthode définie par R. Horton (1945) modifiée par Strahler et Schumm (1957).

Le tableau n°4, illustre le classement du réseau hydrographique du bassin versant d'Oued El Maleh obtenu à partir de la carte topographique au 1/100 000 qui a servi de base pour reproduire fidèlement le chevelu hydrographique (fig. 7).

Tab. 4 - Classification du chevelu hydrographique.

Ordre	Nombre	Longueur totale (km)	Longueur moyenne "L <sub>u</sub> " (km)	Log (nombre)	Log (L <sub>u</sub> )
1	607	789,5	1,301	2,783	0,114
2	138	228,2	1,653	2,14	0,218
3	31	112,9	3,643	1,491	0,561
4	9	70,34	7,815	0,954	0,893
5	3	58,17	19,39	0,477	1,29
6	1	34,23	34,23	0	1,534

$L_u = \text{Longueur totale} \div \text{Nombre}$ .

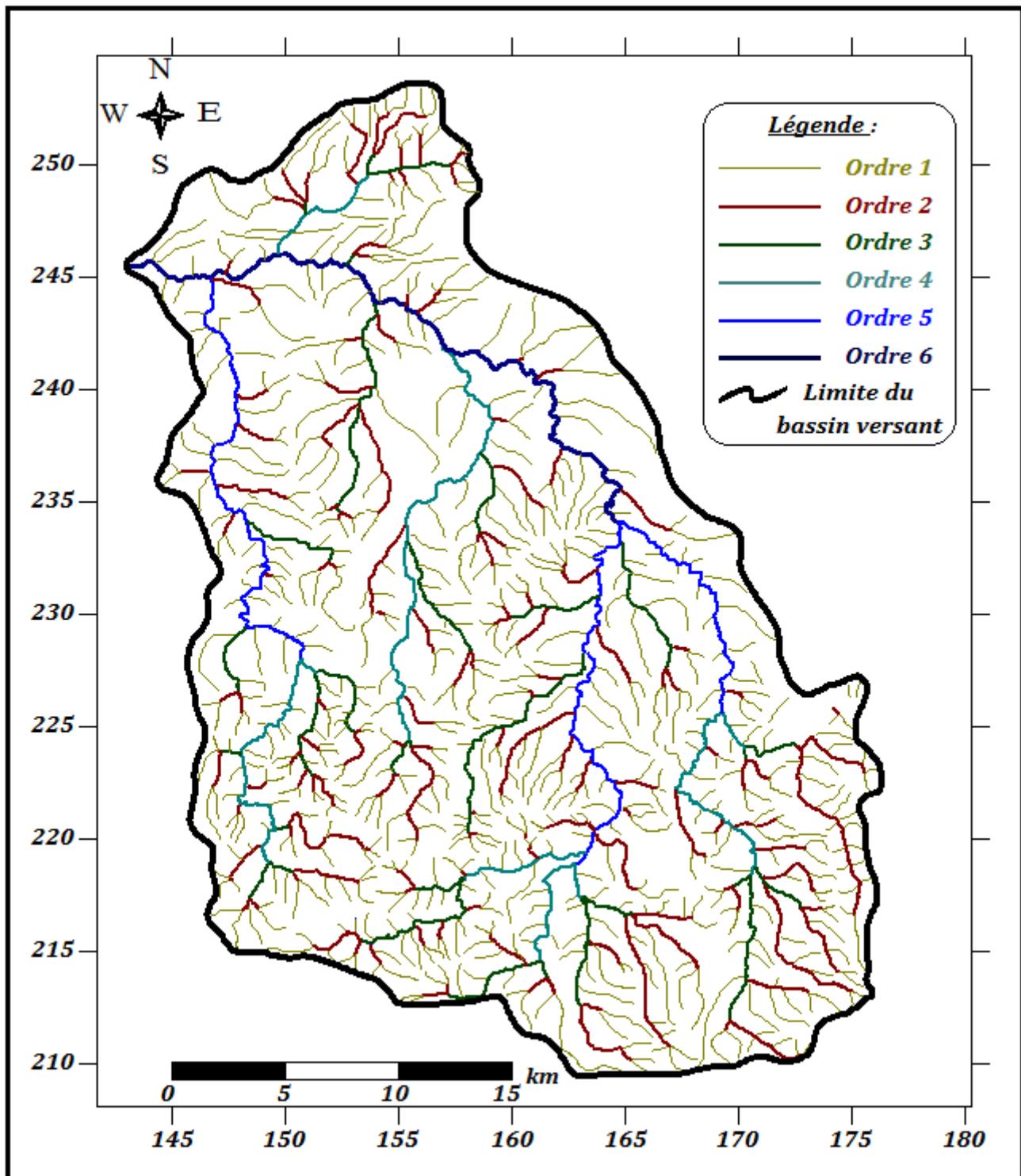


Fig. 7 - Classification du réseau hydrographique du bassin versant d'Oued El Maleh (H.P.O , 2005).

#### 4.5.2 - Pente moyenne du cours d'eau principal

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau arrive à l'exutoire, ce qui permet d'apprécier le temps de concentration. Cette variable influence donc le débit maximal observé. Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis

qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol.

Le calcul des pentes moyennes et partielles de cours d'eau s'effectue à partir du profil longitudinal du cours d'eau principal et de ses affluents. La méthode la plus fréquemment utilisée pour calculer la pente longitudinale du cours d'eau consiste à diviser la différence d'altitude entre le point le plus éloigné et l'émissaire par la longueur totale du cours d'eau:

$$P_{moy} = \frac{\Delta H_{max}}{L}$$

Où:

$P_{moy}$ : Pente moyenne du cours d'eau (m/km).

$\Delta H_{max}$ : Dénivellation maximale de la rivière (m).

$L$ : Longueur du cours d'eau principal (km).

$L = 66,7$  km et  $\Delta H_{max} = 685$  m.

Donc:

$P_{moy} = 10,27$  m/km.

### 6.3. Degré de développement du réseau

#### 6.5.3 - Densité de drainage

La densité de drainage introduite par Horton, est le quotient de la longueur cumulée du réseau hydrographique par l'aire du bassin versant:

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

Avec:

$D_d$ : Densité de drainage (km/km<sup>2</sup>).

$\sum L_i$ : Longueur totale des thalwegs (km).

$A$ : Superficie du bassin (km<sup>2</sup>).

$\sum L_i = 1293,3$  km et  $A = 873,45$  km<sup>2</sup>.

$D_d = 1,48$  km/km<sup>2</sup>

La valeur de la densité de drainage est égale à 1,48 km/km<sup>2</sup>, ceci traduit que le bassin présente dans son ensemble une formation géologique perméable, dont l'écoulement est plutôt limité et centralisé et l'infiltration est importante.

#### 6.5.4 - Densité hydrographique

La fréquence " $F$ " des cours d'eau (densité hydrographique) est obtenue à partir du rapport du nombre des cours d'eau à la surface totale du bassin.

$$F = \frac{\sum N_i}{A}$$

Où:

**$F$ : Densité hydrographique (km<sup>-2</sup>).**

$\sum N_i$ : Nombre des cours d'eau.

$A$ : Aire du bassin (km<sup>2</sup>).

$\sum N_i = 789$  et  $A = 873,5$  km<sup>2</sup>.

Donc:

$$F = 0,9 \text{ km}^{-2}$$

Cette faible valeur de densité hydrographique (0,9 km<sup>-2</sup>) est due à un sol perméable, un couvert végétal important et un relief peu accidenté.

#### 6.5.5 - Rapport de confluence

Horton et Strahler ont proposé des lois concernant la relation entre des cours d'eau, d'une part, et le nombre et la longueur moyenne des cours d'eau d'autre part :

$$R_C = \frac{N_u}{N_{(u+1)}}$$

Où:

$N_u$ : Nombre de cours d'eau d'ordre " $u$ ",

$N_{(u+1)}$ : Nombre de cours d'eau d'ordre suivant.

$u$ : Ordre d'un cours d'eau; " $u$ " varie entre "1" et " $w$ " ( $w$  est l'ordre du cours d'eau principal, classification de Strahler).

En se basant sur la classification du chevelu hydrographique du bassin versant d'Oued El Maleh (tableau n° 4), on obtient les résultats résumés au tableau ci-dessous (tableau n° 5).

Tab.5- : Rapport de confluence.

$R_{C1} = \frac{N_1}{N_2} = 4,4.$
$R_{C2} = \frac{N_2}{N_3} = 4,45.$
$R_{C3} = \frac{N_3}{N_4} = 3,44.$
$R_{C4} = \frac{N_4}{N_5} = 3.$
$R_{C5} = \frac{N_5}{N_6} = 3.$
$R_C = (R_{C1}+R_{C2}+R_{C3}+R_{C4}+R_{C5})\div 5 \Rightarrow R_C = 3,66.$

Le rapport de confluence exprime le développement du réseau de drainage, il varie suivant l'ordre considéré, c'est un élément important à considérer pour établir des corrélations d'une région à une autre. Selon Strahler (1964), le "R<sub>C</sub>" varie de 3 à 5 pour une région où la géologie n'a aucune influence.

Le rapport de confluence peut être aussi déterminé grâce à la pente de la régression linéaire. En reportant sur un papier semi logarithmique (figure.09) le nombre des thalwegs "N<sub>u</sub>" en ordonnée et l'ordre des cours d'eau "u" en abscisse, on obtient une droite dont l'équation est de la forme suivante :

$$\text{Log } N_u = ax + b.$$

Avec la pente :  $a = \frac{\text{Log}(100) - \text{Log}(10)}{4,1 - 2,3} = 0,555.$

La valeur de la pente "a" de la droite donne la valeur moyenne du rapport de confluence sur l'ensemble du bassin.

On a :  $a = \text{Log } R_C \Rightarrow R_C = 10^a = 10^{0,555}.$

$$R_C = 3,593.$$



Fig.08 - : Rapport de confluence.

### 6.5.6 - Temps de concentration des eaux du bassin

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie la plus éloignée du bassin pour parvenir à l'exutoire. Pour son calcul, nous faisons appel à la formule de GIANDOTTI:

$$T_C = \frac{4(A + 1,5L)^{1/2}}{0,8(H_{\text{moy}} - H_{\text{min}})^{1/2}}$$

Avec:

$T_C$ : Temps de concentration (heure).

A: Superficie du bassin (km<sup>2</sup>).

L: Longueur du thalweg principal (km).

$H_{\text{moy}}$ : Altitude moyenne (m).

$H_{\text{min}}$ : Altitude minimale (m).

$A = 873,45 \text{ km}^2$ ,  $L = 66,7 \text{ km}$ ,  $H_{\text{moy}} = 305,2 \text{ m}$  et  $H_{\text{min}} = 0 \text{ m}$ .

**$T_C = 8,93 \text{ heures}$ .**

Le temps de concentration des eaux " $T_C$ " est la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement, il est fonction de la surface, de la lithologie, de la pluviométrie et du relief.

### 6.5.7 - Coefficient de torrentialité

C'est un coefficient qui tient compte à la fois de la densité des thalwegs élémentaires et la densité de drainage

$$C_T = D_d \cdot F_1$$

Où:

$D_d$ : Densité de drainage (km/km<sup>2</sup>).

$F_1$ : Fréquence des thalwegs élémentaires  $F_1 = N_1 \div A$  avec;  $N_1$ : nombre de cours d'eau d'ordre "1" et  $A$ : surface du bassin (km<sup>2</sup>).

$N_1 = 607$ ,  $A = 873,5 \text{ km}^2 \Rightarrow F_1 = 0,7$  et  $D_d = 1,48 \text{ km/km}^2$ .

**$C_T = 1,028 \text{ km/km}^4$ .**

Le bassin versant présente une fréquence faible ( $F_1 = 0,694$ ), ce qui traduit une hiérarchisation moyenne du réseau hydrographique.

La basse valeur du coefficient de torrentialité ( $C_T = 1,028 \text{ km/km}^4$ ) est liée à la fois à la faiblesse des précipitations et la forte perméabilité des formations lithologiques.

### Conclusion

Le bassin versant de l'Oued El Maleh est centré sur des terrains de nature lithologique hétérogène ( alluvions quaternaires , grés et sables du pliocène, basaltes et calcaires du miocène). Cependant quelques îlots jurassique allochtones s'individualisent au centre de la plaine d'El Maleh.

Les caractéristiques morphométriques du bassin versant d'Oued El Maleh ont été évaluées à partir du logiciel: Mapinfo 7.5 Professional (le leader mondial des S.I.G sur micro).

D'après l'étude morphométrique, le bassin d'Oued El Maleh présente une forme moyennement allongée, une superficie de 873,45 km<sup>2</sup>; un périmètre de 138,32 km, un bassin en état de maturité, un relief fort et une pente globale plus ou moins forte avec un chevelu hydrographique d'une hiérarchisation moyenne, une formation dans son ensemble perméable ainsi qu'un temps de concentration de ruissellement moyen ce qui favorise l'infiltration des eaux de pluie. La figure ci-dessous récapitule les principales caractéristiques morphométriques du bassin :

## CHAPITRE 2 - HYDROCLIMATOLOGIE

Nous examinerons dans ce chapitre les paramètres hydroclimatiques, en particulier les précipitations, les températures, l'évapotranspiration et les écoulements représentés par les débits enregistrés à l'exutoire qui en découlent. Tout d'abord nous déterminerons les caractéristiques climatiques à l'échelle du bassin et, par la suite nous aborderons le régime hydrologique.

## 1 - Étude des Précipitations

Nous avons pris en considération les données météorologiques recueillies auprès de l'Institut de Technologie Moyen Agricole Spécialisé (I.T.M.A, Aïn - Temouchent) qui dispose d'une station installée à une altitude de 330m, aux coordonnées géographiques indiquées au tableau n°6.

Tab.6 - : Présentation de la station de Aïn - Temouchent (I.T.M.A).

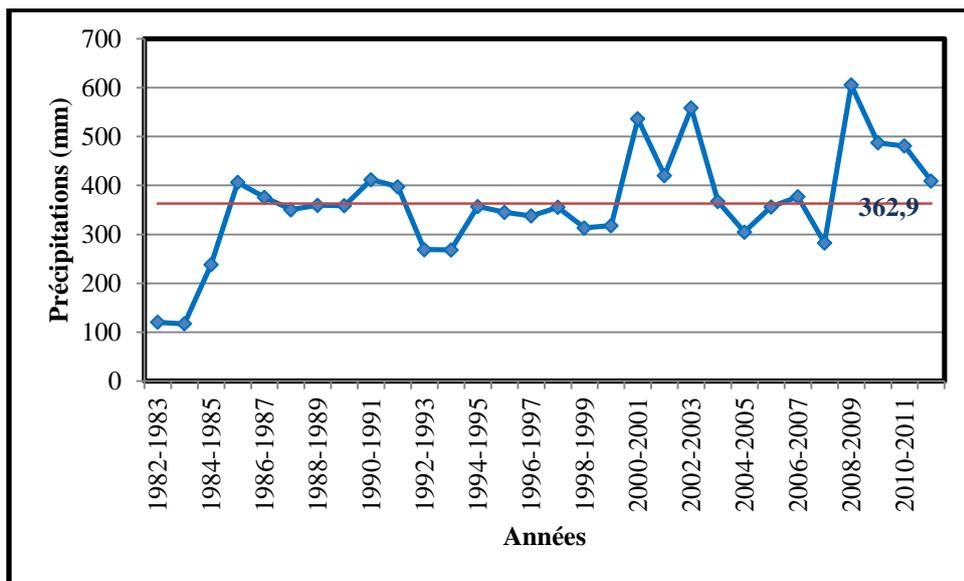
Latitude	Longitude	Altitude (m)
35°17' N	01°07' W	330

## 1.1 - Répartition des précipitations moyennes annuelles

Nous avons pu disposer des données afférant à la station d'Aïn - Temouchent ; celles-ci couvrent une période d'observation allant de 1982 à 2012 (tableau n° 7)

Tab.7 - : Valeurs des précipitations moyennes annuelles à la station d'Aïn - Temouchent.

Année	P (mm)	Année	P (mm)	Année	P (mm)
1982-1983	120,4	1993-1994	268,4	2004-2005	304,9
1983-1984	117,3	1994-1995	357,2	2005-2006	356,3
1984-1985	237,9	1995-1996	345,2	2006-2007	376,8
1985-1986	406,4	1996-1997	337,9	2007-2008	282,5
1986-1987	376	1997-1998	355,5	2008-2009	605,3
1987-1988	350,6	1998-1999	313,2	2009-2010	487,3
1988-1989	359,6	1999-2000	317,9	2010-2011	480,8
1989-1990	358,6	2000-2001	536,1	2011-2012	409,2
1990-1991	411,8	2001-2002	420,5	<b>Moyenne annuelle</b> = <b>362,9 mm</b>	
1991-1992	397,4	2002-2003	558,5		
1992-1993	269,1	2003-2004	367,2		



**Fig.9 - : Variations des précipitations moyennes annuelles à la station d’Aïn Temouchent (1982 –2012).**

On observe d’après la figure.12 une prépondérance d’un front déficitaire durant la période comprise entre 1982 et 2000 où plusieurs valeurs annuelles se trouvent en dessous de la moyenne annuelle qui est de 362,9 mm, par contre la décennie: 2000-2012 apparait comme excédentaire avec une tendance à un retour des précipitations où l’on enregistre un maximum pendant l’année 2008-2009 de 605,3 mm. On remarque l’irrégularité des apports par les précipitations ; cependant, les conditions de recharge des aquifères principalement à caractère libre, centrés au niveau du bassin de l’Oued El-Maleh, disposent d’une grande inertie leur permettant une sensible résistance à la sécheresse.

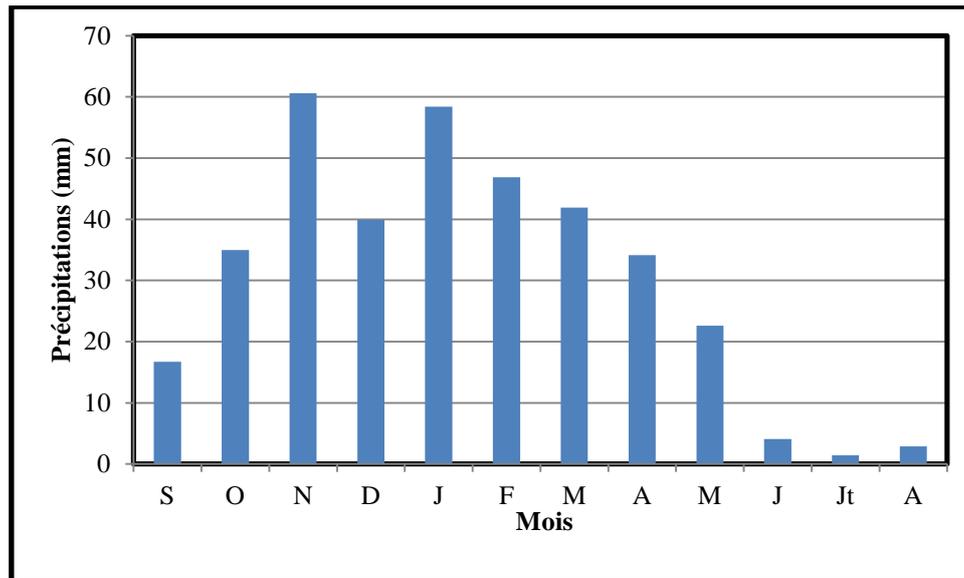
**1.2 - Répartition des précipitations moyennes mensuelles**

Les données des précipitations moyennes mensuelles refluant à la même période (1982-2012) sont consignées au tableau n°8 - ci-dessous.

**Tab .8 - Précipitations moyennes mensuelles à la station d’Aïn - Temouchent.**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
P (mm)	16,7	34,6	60,6	39,7	58,4	46,4	41,5	34,1	22,5	4,1	1,4	2,9	362,9

Nous avons établi l’histogramme représentant l’évolution mensuelle des précipitations à la période considérée (fig. 10).



**Fig.10: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles, station d'Aïn Temouchent (1982–2012).**

Ceci nous a permis de caractériser le bassin versant d'Oued El Maleh par deux périodes distinctes :

- Une période sèche, qui correspond à la saison d'Eté (Juin, Juillet, Août), marquée par une importante diminution des précipitations.
- Une période Humide: convient aux autres mois de l'année, où l'on observe une alternance de mois humides avec certains mois peu secs (fig.11), ce qui implique une période de pluviométrie irrégulière.

D'autre part, les mois les plus pluvieux sont Novembre (60,60 mm) et Janvier (58,4 mm), par contre le mois de Juillet est le plus sec avec une hauteur infime de 1,4 mm

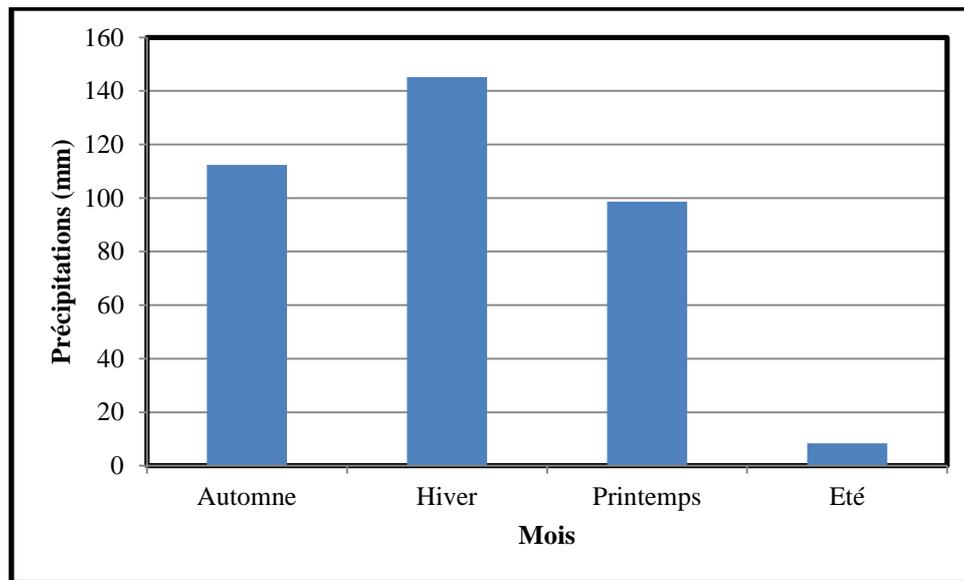
### 1.3 - Répartition des précipitations saisonnières

L'étude des précipitations saisonnières est importante car elle permet d'apprécier la variation des précipitations et leur tendance. Les données correspondantes sont représentées au tableau n° 9.

**Tab.9 - : Valeurs des précipitations saisonnières à la station d'Aïn - Temouchent.**

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
<b>Précipitations (mm)</b>	111,9	144,5	98,1	8,4

La distribution des précipitations ainsi considérée est illustrée par la figure n°13



**Fig.11 - Histogramme des précipitations saisonnières ; station d'Aïn – Temouchent (1982-2012).**

Ainsi visualisée cette répartition des précipitations, montre un indice saisonnier de type « **H A P E** ». Celui-ci traduit un apport d'eau saisonnier aboutissant à la recharge efficace des nappes à l'abri de l'influence des pertes par évapotranspiration au niveau de l'ensemble du bassin versant d'El-Maleh.

## 2 - Étude des températures

Les températures moyennes annuelles et mensuelles régissent directement en interaction avec les autres facteurs météorologiques (insolation, vitesse et turbulence du vent, précipitations) et biogéographiques, le phénomène d'évapotranspiration et le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Ceci permettra d'apprécier les pertes en eau et d'en déduire par conséquent les autres éléments du bilan hydrologique.

On dispose au tableau.10 des moyennes mensuelles et annuelles des températures minimales et maximales qui correspondent à la période d'observation allant de 1995 à 2012.

Ces données concernent :

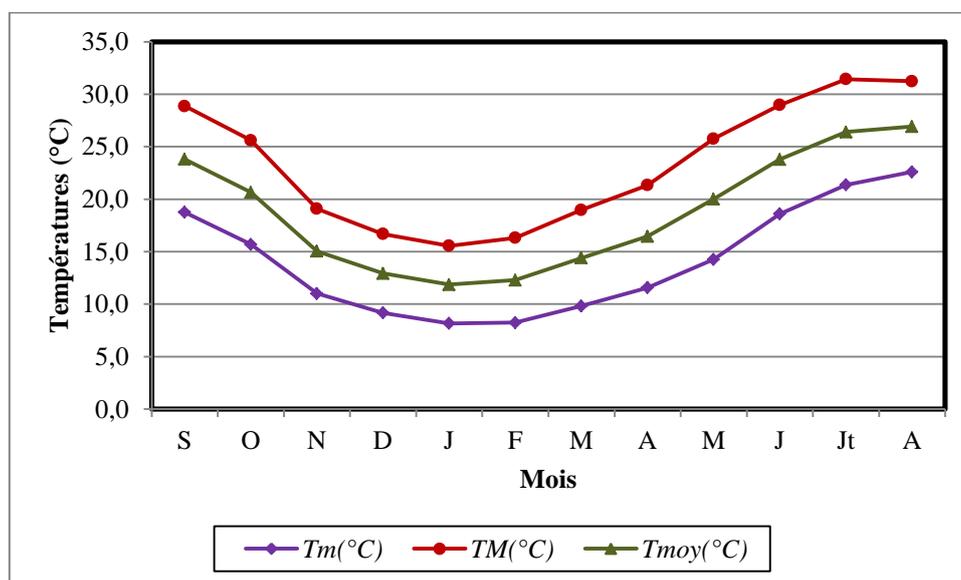
- $T_m$ : moyennes mensuelles et annuelles des températures minimales (°C).
- $T_M$ : moyennes mensuelles et annuelles des températures maximales (°C).
- $T_{moy}$ :  $(T_m + T_M)/2$ .

**Tab.10 - : Moyennes mensuelles et annuelles des températures, maxima, et minima à la station d'Aïn - Temouchent (1995/1996 – 2011/2012).**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
<b>Tm(°C)</b>	18,7	15,69	11	9,164	8,2	8,2	9,8	11,6	14,3	18,6	21,4	22,6	14,1
<b>TM(°C)</b>	28,86	25,6	19,08	16,68	15,6	16,3	18,97	21,33	25,8	28,98	31,4	31,24	23,32
<b>Tmoy(°C)</b>	23,8	20,65	15,04	12,92	11,9	12,3	14,4	16,4	20,0	23,8	26,4	26,9	18,7

D'après la répartition des températures (figure.17), il s'avère qu'à partir de Mai et jusqu'à Octobre, les températures moyennes mensuelles tendent à s'accroître en présentant des valeurs allant de 20 °C à 26,9 °C supérieures à la moyenne annuelle (18,7 °C) ; par contre la saison comprise entre Novembre et Avril représente des températures moyennes mensuelles qui varient entre 11,9 °C et 16,4 °C inférieures à la moyenne annuelle (18,7 °C).

Le maximum des températures est atteint en Août avec une moyenne de 26,9 °C et le minimum se situe en Janvier aux environs de 11,9 °C.



**Fig.12: Variation mensuelle des températures à la station d'Aïn - Temouchent (1995/1996 – 2011/2012).**

### 3 - Étude du climat

#### 3.1 - Diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gausson

D'après la courbe pluviothermique traduit par la relation ( $P = 2T$ ), on peut distinguer la période humide de la période sèche.

Avec: P: précipitations moyennes mensuelles (mm).

T: températures moyennes mensuelles (°C).

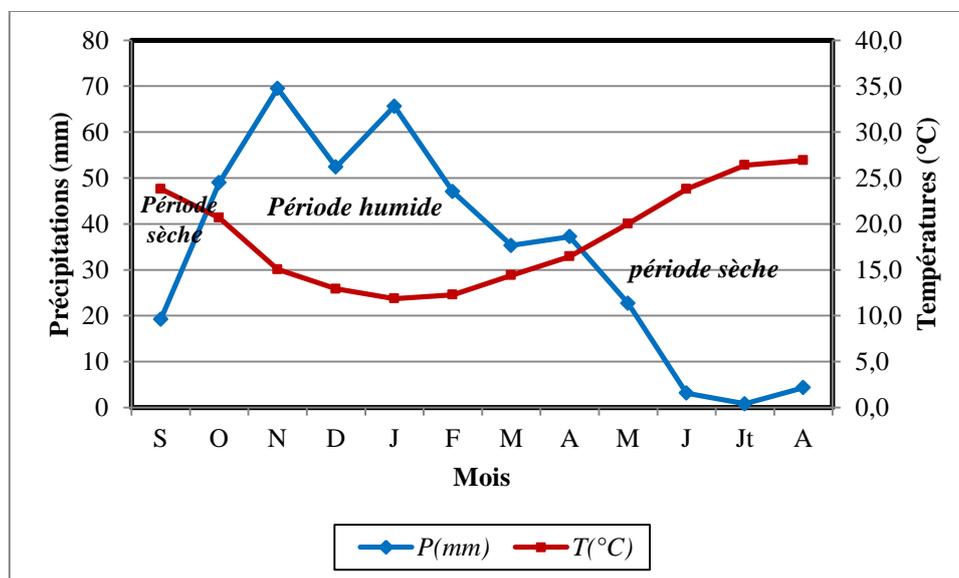
Le couple de données (précipitations-températures) est consigné au tableau n° 11

**Tab.11 - Températures et précipitations moyennes mensuelles à la station d'Aïn - Temouchent.**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
P(mm)	19,2	48,0	69,2	52,1	65,2	47,0	35,1	37,1	22,3	3,2	0,7	4,1
T(°C)	23,8	20,65	15,04	12,92	11,9	12,3	14,4	16,4	20,0	23,8	26,4	26,9

L'établissement du diagramme pluviothermique (fig. 13) fait ressortir :

- Une période humide longue, de sept mois, débutant en Octobre et se prolongeant jusqu'au mois d'Avril.
- Une période sèche de cinq mois, s'étalant sur le reste des mois.



**Fig.13: Diagramme pluvio-thermique de la station de Aïn Temouchent (1995 – 2012).**

### 3.2 - Indices climatiques

Les indices climatiques permettent d'identifier le climat de la région étudiée. Nous nous sommes limités à l'estimation détaillée des deux indices ceux de De Martonne et Moral. Pour

les autres indices (Emberger, Kerner et Stewart) nous avons retenus seulement les résultats obtenus.

### 3.2.1 - Indice d'aridité de De Martonne

De. Martonne a établi un indice d'aridité annuel et un autre mensuel indiquant le type de mois, pour:

- 20 < I < 30 → Climat tempéré,
- 10 < I < 20 → Climat semi aride,
- 7,5 < I < 10 → Climat steppique,
- 5 < I < 7,5 → Climat désertique,
- I < 5 → Climat hyper aride.

#### A. Indice d'aridité annuel (I)

Il est donné par la relation :

$$I = P / (T + 10)$$

Où:

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

T : température moyenne annuelle (°C).

**Tab.12 - : Indice d'aridité de De. Martonne.**

<b>P (mm)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>I</b>
403,2	18,7	14,05

L'indice de De. Martonne estimé à 14,05, montre l'appartenance de la station de notre zone d'étude au régime semi-aride, comme l'évoque l'abaque de la figure.14.

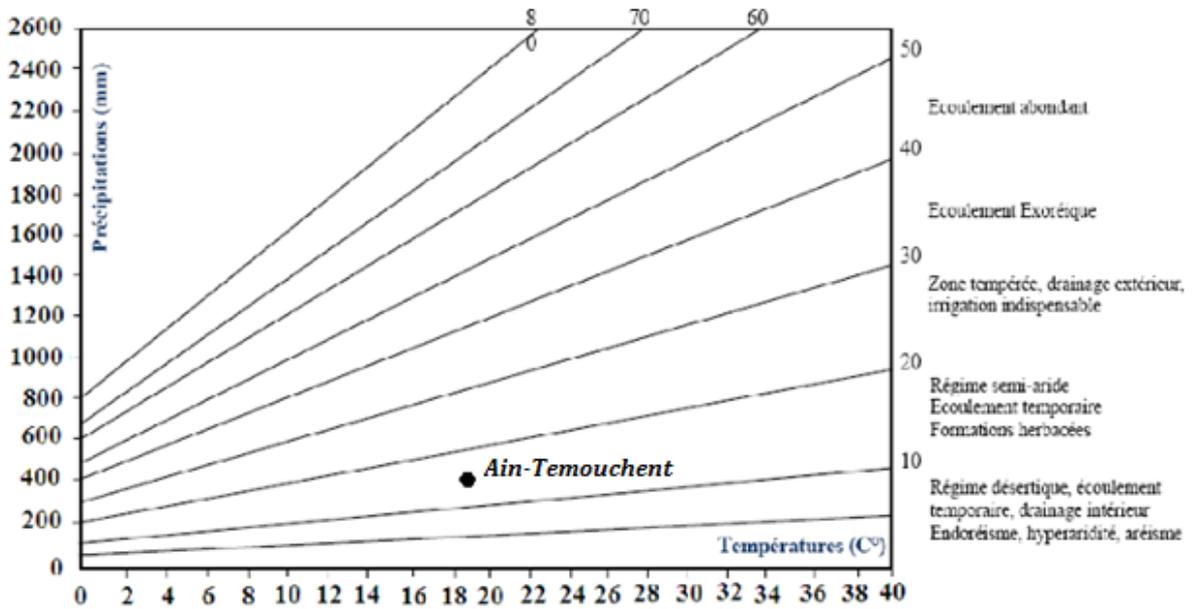


Fig.14 - : Abaque de l'indice d'aridité de De. Martonne, station d'Aïn Temouchent (1995-2012).

**B. Indice d'aridité mensuel (i)**

Il est donné par la relation:

$$i = 12p / (t + 10)$$

Où p et t représentent respectivement les précipitations et températures moyennes du mois considéré (tableau n° 13).

Tab.13 - : Indices d'aridité mensuels de De. Martonne.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
p(mm)	19,2	48,0	69,2	52,1	65,2	47,0	35,1	37,1	22,3	3,2	0,7	4,1
t(°C)	23,8	20,65	15,04	12,92	11,9	12,3	14,4	16,4	20,0	23,8	26,4	26,9
i	6,82	19,18	33,32	27,42	36,03	25,33	17,36	16,9	9,07	1,12	0,27	1,4
Type de Climat	D	SA	T	T	T	T	SA	SA	S	HA	HA	HA

D: désertique, SA : semi aride, T : tempéré, S : steppique, HA : hyper aride,

### 3.2.2 - Indice de Moral

#### A. Indice annuel ( $I_M$ )

L'application de cet indice permet selon Moral de fixer la limite de la zone aride pour un coefficient égal à l'unité suivant la relation :

$$I_M = P / (T^2 - 10T + 200)$$

Où:

P: précipitations moyennes annuelles (mm).

T: température moyenne annuelle (°C).

**Tab.14 - : Indice annuel de Moral.**

P (mm)	T (°C)	$I_M$
403,2	18,7	1,11

#### B. Indice mensuel ( $I_m$ )

Moral a proposé un indice plus précis, permettant d'évaluer l'intensité de la sécheresse pour chaque mois, donné par l'expression :

$$I_m = p / (0,1t^2 - t + 20)$$

Où p et t représentent les précipitations et températures moyennes du mois considéré (tableau n° 15).

**Tab.15 - : Valeurs des indices mensuels de Moral et leurs classifications.**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
p(mm)	19,2	48,0	69,2	52,1	65,2	47,0	35,1	37,1	22,3	3,2	0,7	4,1
t(°C)	23,8	20,65	15,04	12,92	11,9	12,3	14,4	16,4	20,0	23,8	26,4	26,9
$I_m$	0,364	1,166	2,521	2,203	2,96	2,063	1,34	1,22	0,566	0,06	0,01	0,07
$0,1t^2 - t + 30$	62,85	52	37,58	33,78	32,2	32,79	36,3	40,6	50,04	62,8	73,3	75,5
$0,1t^2 - t + 20$	52,85	42	27,58	23,78	22,2	22,79	26,3	30,6	40,04	52,8	63,3	65,5
$0,1t^2 - t + 10$	42,85	32	17,58	13,78	12,2	12,79	16,3	20,6	30,04	42,8	53,3	55,5
Type du Climat	A	H	P	P	P	P	H	H	A	A	A	A

H: Humide, A: Aride, P: Pluvieux.

Nous avons déterminé le caractère climatique mensuel à partir des quatre types indiqués par Moral qui sont:

Mois pluvieux:  $p > 0,1t^2-t+30$ .

Mois humide:  $0,1t^2-t+30 > p > 0,1t^2-t+20$ .

Mois sec:  $0,1t^2-t+20 > p > 0,1t^2-t+10$ .

Mois aride:  $p < 0,1t^2-t+10$ .

Les résultats des indices mensuels obtenus montrent que les mois pluvieux et humide couvrent sept mois de l'année.

### 3.2.3 – Représentation des résultats

Les valeurs des différents indices obtenus sont récapitulées au tableau n°16 ci-dessous.

**Tab.16 – Résultats comparatifs des indices climatiques**

Indices climatiques	De Martonne I	Moral IM	Emberger QE	Kerner IK	Stewart Qs
Résultats	14,05	1,11	59,36	28,33	34,92
Climat	Semi-aride Écoulement Température	Semi-aride Pluvieux à humide	Semi-aride à humide chaud	Influences maritimes	Climat semi- aride

D'après ces résultats le bassin versant de l'oued El-Maleh est caractérisé par un climat semi-aride essentiellement pluvieux à humide, parfois à hiver chaud ; et manifestant des influences maritimes et un écoulement temporaire.

## 4 - Evaporation et déficit d'écoulement

Afin d'évaluer l'évapotranspiration réelle et potentielle, de nombreuses méthodes ont été mises en œuvre, basées sur les données de précipitations et de températures enregistrées à la station d'Aïn - Temouchent sur une période comprise entre 1995 et 2012. Parmi ces méthodes nous avons appliqué celles qui sont les plus appropriées au régime climatique caractérisant la région étudiée (Turc, Coutagne, Thornthwaite, ...).

#### 4.1 - Méthode de Turc

L'évapotranspiration réelle (tableau.23) se déduit à partir d'une relation (L. Turc) applicable à toutes les régions, donnant de bons résultats sur 254 bassins dans le monde, elle est de la forme :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L}}}$$

ETR: évapotranspiration réelle annuelle (mm),

P: précipitations moyennes annuelles (mm).

L:  $300 + 25T + 0,05T^3$  avec : T: température moyenne annuelle (°C).

**Tab.17 - : Valeur de l'ETR (Turc).**

P(mm)	T(°C)	L	ETR (mm)	P (%)
403,2	18,7	1094,46	396,22	98,27

Ainsi: ETR = 396,22 mm, ce qui représente 98,27 % des précipitations.

#### 4.2 - Méthode de Coutagne

Le déficit d'écoulement (tableau.24) qui est l'équivalent de l'évapotranspiration réelle est noté :

$$D = P - \lambda P^2 \quad \text{où:} \quad \lambda = \frac{1}{0,8 + (0,14T)}$$

D: déficit d'écoulement (m/an).

P: hauteur moyenne annuelle des précipitations (m/an).

T: température moyenne annuelle (°C).

Cette formule n'est applicable que pour :  $\frac{1}{8\lambda} \leq P \leq \frac{1}{2\lambda}$

$$D = 355,6 \text{ mm.}$$

**Tab.18 - : Paramètres du déficit d'écoulement (Coutagne).**

P(mm)	1/8λ(mm)	1/2λ(mm)	T(°C)	D(mm)
403,2	427,3	1709,4	18,7	355,6

Ce résultat montre que la part des écoulements déduit serait de l'ordre de 47,6 mm ; soit environ 12% des apports par les précipitations.

### 43 - Méthode de Thornthwaite

Thornthwaite a suggéré une équation favorisant le calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et permettant de suivre les éléments du bilan hydrologique à l'échelle mensuelle. L'ETP est donnée par la relation :

$$ETP = 1,6 \left( 10 \frac{t}{I} \right)^a f(\lambda)$$

Où:

- ETP: évapotranspiration potentielle mensuelle (cm).
- t: température moyenne mensuelle (°C).
- f(λ): facteur de correction mensuel lié à la latitude (durée maximale d'ensoleillement), donné par des tables.
- $I = \sum 12i$ , avec i (indice thermique mensuel)  $= \left( \frac{t}{5} \right)^{1,514}$ .
- a (exposant climatique)  $= \left( \frac{1,6}{100} I \right) + 0,5$ .

On consigne les valeurs de l'évapotranspiration potentielle (Thornthwaite, 1944) relatives aux douze mois de l'année dans le tableau n°19 ci-dessous selon les considérations suivantes :

$$ETP_{\text{calculés}} = 1,6 \left( 10 \frac{t}{I} \right)^a$$

$$ETP_{\text{corrigés}} = ETP_{\text{calculée}} \times f(\lambda).$$

Tab.19 - : Valeurs de l'ETP à la station d'Aïn - Temouchent (1995-2012).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
t(°C)	23,8	20,65	15,04	12,92	11,9	12,3	14,4	16,4	20,0	23,8	26,4	26,9	18,7
i	10,62	8,563	5,297	4,211	3,697	3,896	4,96	6,07	8,16	10,61	12,42	12,8	91,28
I =91,28. et a =(0,016*91,28)+0,5 =1,9604.													
ETP calculée(cm)	10,48	7,931	4,258	3,163	2,672	2,86	3,91	5,07	7,46	10,46	12,84	13,3	84,43
f(λ)	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	
ETP corrigée (cm)	10,79	7,693	3,662	2,689	2,325	2,431	4,03	5,53	9,02	12,66	15,79	15,5	92,08

f(λ)=>N35° (selon la carte géologique d'Aïn Temouchent).

Ce tableau sera complété par la suite lors de l'estimation du bilan hydrologique

#### 4.4 - Méthode de Wundt

Les valeurs du déficit et du quotient d'écoulement en fonction de la température moyenne annuelle et des précipitations reportées sur l'abaque de Wundt (fig.15 ), donnent les résultats résumés au tableau n°20 .

Tab.20 - : Valeur du déficit d'écoulement (D) et du quotient d'écoulement (E).

P(mm)	T(°C)	D(mm)	E(mm)
403,2	18,7	400,0	Inférieur à 10 %

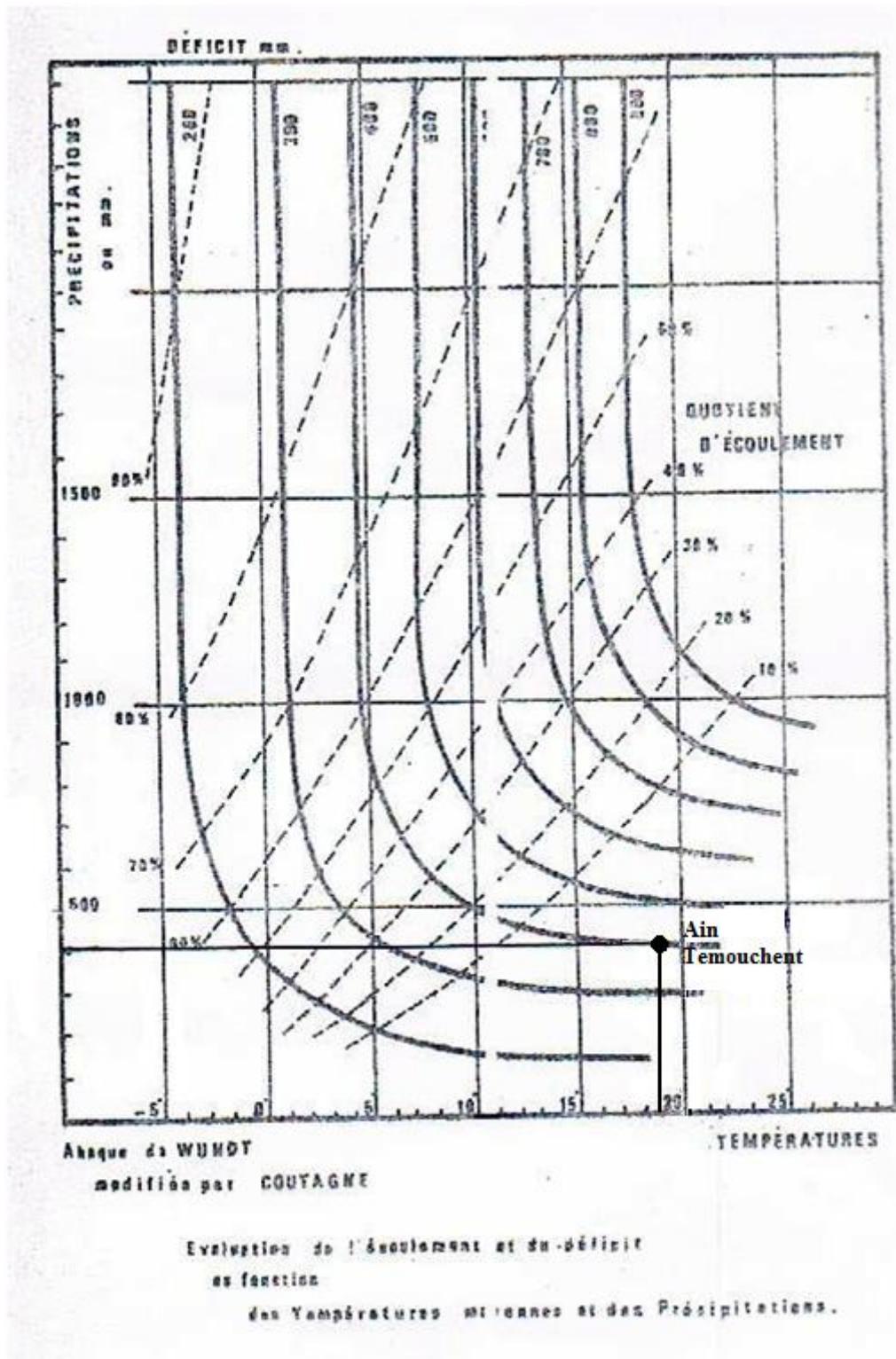


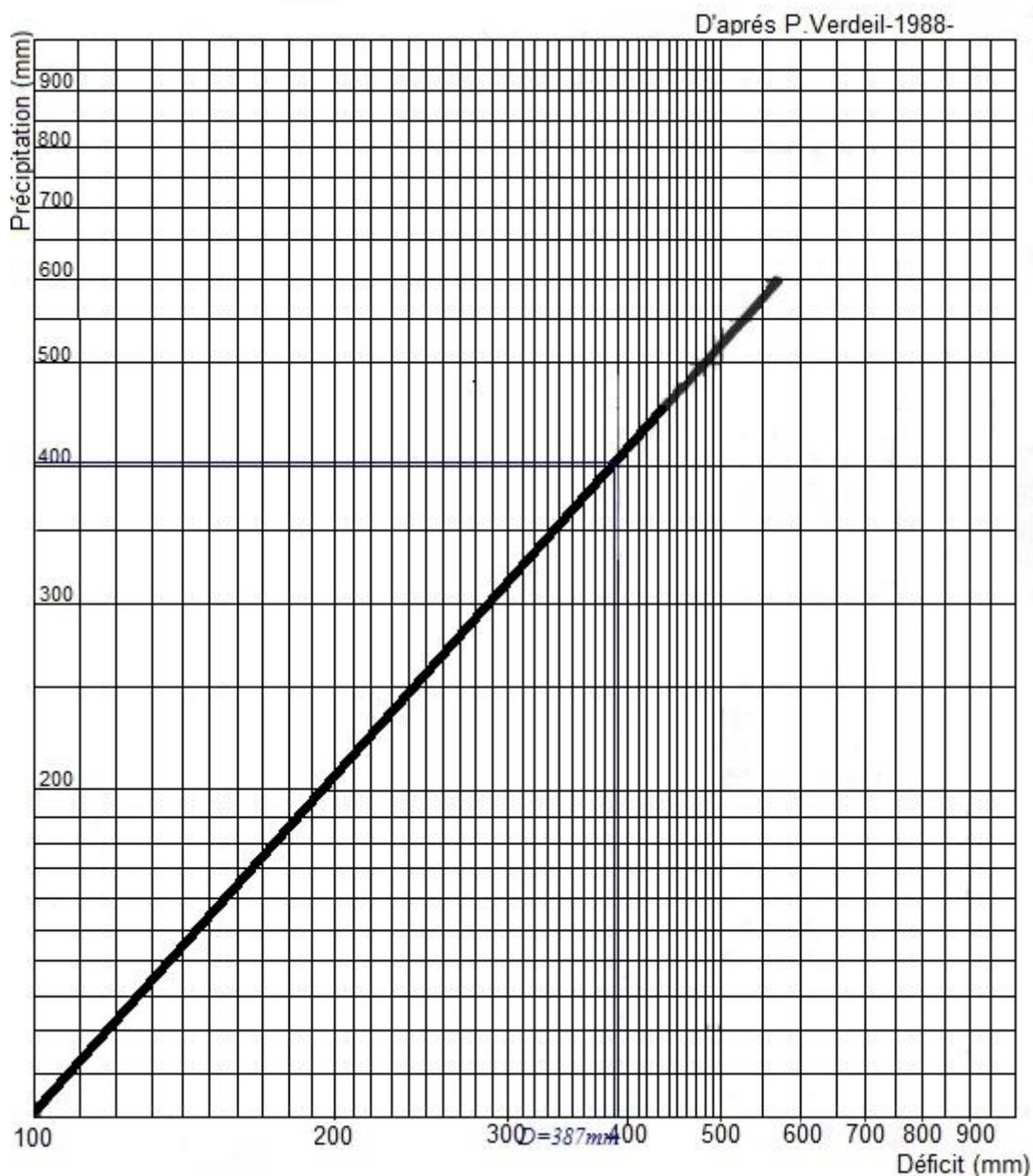
Fig.15: Abaque de Wundt.

## 4.5 - Méthode de P. Verdeil

Le report des précipitations annuelles (station d'Aïn - Temouchent) sur l'abaque de P. Verdeil (fig. 16 -) permet de déduire le déficit d'écoulement.

**Tab.21 - : Valeur du déficit d'écoulement.**

P(mm)	D(mm)	Écoulement (mm)
403,2	387	16,2 mm soit 4,02 %



**Fig.16 - Abaque représentatif du déficit d'écoulement (P. Verdeil, 1988).**

## 5 – Eléments du bilan hydrologique

### 5.1 – Bilan de Thornthwaite

Le bilan de Thornthwaite permet de suivre les éléments du bilan hydrologique à l'échelle mensuelle de la série d'observation considérée.

Il comporte le calcul des paramètres suivants:

**a-** Variation de la réserve:  $\Delta U = P - ETP$ .

**b-** Réserve utile (RU): On admet que la saturation du sol est atteinte lorsque la réserve utile maximale franchit le seuil de 50 mm (cas de notre bassin versant).

**d-** Evapotranspiration réelle (ETR): deux cas peuvent se présenter:

- Si les précipitations du mois sont supérieures à l'ETP : l'ETR sera égale à l'ETP et on aura alors un excédant emmagasiné dans l'humidité du sol dont il augmente les réserves jusqu'à saturation, au delà, l'eau disponible alimentera l'infiltration.

$$P > ETP \Rightarrow ETR = ETP$$

\* Si les précipitations mensuelles sont inférieures à l'ETP :

- ETR sera égale à l'ETP aussi longtemps que la réserve sera capable de fournir les Quantités d'eau complémentaires.

-  $ETR = RU + P$  lorsque la réserve d'humidité deviendra insuffisante et on aura ainsi un déficit d'écoulement, ensuite l'ETR sera égale à P au fur et à mesure que RU reste nul.

Déficit agricole: **DA = ETP - ETR.**

Le tableau suivant montre le bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite pour la série 1995-2012 :

Tab.22 - : Éléments du bilan hydrologique (méthode de Thornthwaite)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
<b>P(mm)</b>	19,2	48,0	69,2	52,1	65,2	47,0	35,1	37,1	22,3	3,2	0,7	4,1	403,2
<b>T(°C)</b>	23,8	20,65	15,04	12,92	11,9	12,3	14,4	16,4	20,0	23,8	26,4	26,9	18,7
<b>ETP</b>	107,9	76,93	36,62	26,89	23,25	24,31	40,3	55,3	90,2	126,6	157,9	155	920,8
<b>ΔR = P-ETP</b>	-88,7	-28,9	32,58	25,21	41,95	22,69	-5,2	-18	-68	-123	-157	-151	
<b>RU (50mm)</b>	0,0	0,0	32,58	50,0	50,0	50,0	44,8	26,6	0,0	0,0	0,0	0,0	
<b>ETR</b>	19,2	48	36,62	26,89	23,25	24,31	40,3	55,3	48,9	3,2	0,7	4,1	330,8
<b>D.A</b>	88,69	28,93	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	41,3	123,4	157,2	150,5	590,0
<b>EX</b>	0,0	0,0	0,0	7,794	41,95	22,69	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,4
<b>E=EX/2</b>	0,178	0,089	0,045	3,897	22,92	22,8	11,4	5,7	2,85	1,425	0,713	0,36	72,38

P: précipitations (mm), ETP: évapotranspiration potentielle (mm), ΔU: variation de la réserve, RU: réserve utile (mm),

ETR: évapotranspiration réelle (mm), D.A: déficit agricole (mm), EX: excédent (mm), E: écoulement (mm).

### 5.2 - Estimation du ruissellement

Le ruissellement correspond à l'eau qui s'écoule directement sur le sol au cours d'une averse. Il peut être estimé (tableau n°23) par la méthode de Tixeront-Berkaloff selon la formule ::

$$R = \frac{P^3}{3 ETP^2}$$

Avec:

R: ruissellement (m).

P: précipitations (m).

ETP: évapotranspiration potentielle (m).

Tab.23 - : Valeur du ruissellement.

P (m)	ETP (m)	Ruissellement (m)
0,4032	0,9208	0,0257

Donc, le ruissellement est égale à 25,7 mm à la station d'Aïn - Temouchent.

### 5.3 - Détermination de l'infiltration

Elle peut être déduite à partir de l'équation du bilan dont l'expression est la suivante :

$$P = D + R + I$$

$$E = R + I$$

P: précipitations moyennes annuelles (mm).

D: déficit d'écoulement (mm).

R: ruissellement (mm).

I: infiltration (mm).

E: écoulement (mm).

Selon les différentes méthodes envisagées, la part des eaux infiltrées est représentée dans le tableau n°24.

Tab.24 - Valeurs de l'infiltration selon les différents auteurs.

R (mm)	Turc		Coutagne		Verdeil		Wundt		Thorntwaite	
	ETR	I	ETR	I	ETR	I	ETR	I	ETR	I
25,7	396,22	-	355,6	21,9	387	-	400	-	330,8	46,7

## Conclusion

À partir de l'étude climatique de la station d'Aïn Temouchent sur la période 1995-2012, nous avons aboutit aux résultats suivants :

- Une moyenne annuelle de précipitations égale à 403,2 mm.
- Une moyenne annuelle de température égale à 18,7 °C avec Janvier le mois le plus froid (11,9 °C) et Août le plus chaud (26,9 °C).
- À l'échelle saisonnière, l'étude des précipitations montre que l'Hiver est la saison la plus humide tandis que celle de l'Été est la plus sèche.
- La méthode des courbes pluviothermiques nous a permis de définir une période humide d'Octobre à Avril.
- Les indices climatiques permettent de préciser qu'il s'agit d'un climat semi aride à Hiver chaud.

- Le bilan hydrologique (1995-2012) révèle une ETP extrêmement forte avec une moyenne de 920,8 mm et une ETR près de 330,8 mm soit 82,04 % des précipitations, de ce fait l'écoulement couvre environ 17,95 % des précipitations.
- La quantité d'eau disponible pour le ruissellement atteint 25,7 mm/an.
- La méthode de Coutagne donne une infiltration estimée à 21,9 mm alors que celle de Thornthwaite donne 46,7 mm d'infiltration (tableau.30) contrairement aux autres méthodes qui ne présentent aucune valeur significative.

## 6 - Régime hydrologique

Nous disposons d'une série de données hydrométriques représentant 31 ans d'observation (annexe II) relevées à partir de la station hydrométrique (tableau n°25) de Terga nord (N. BEN ADDA., 2014). A son niveau un limnigraphe est installé et où les écoulements de surface sont contrôlés en continu à l'aide d'opérations de jaugeage. Nous avons pu disposer d'une série de débits suffisamment cohérente afin d'évaluer les potentialités des eaux superficielles du bassin versant d'Oued El Maleh.

**Tab.25 - : Présentation de la station hydrométrique.**

STATION	COORDONNEES LAMBER RT	
	X (Km)	Y(km)
TURGO NORD	149,000	245,700

### 6.1 - Variation des débits moyens annuels

En se basant sur les données recueillies au niveau de la station de Terga-Nord, nous avons établi la courbe de variation des débits moyens annuels (fig. 17 ) pour visualiser l'évolution du régime hydrologique à l'échelle du bassin versant de l'Oued El-Maleh.

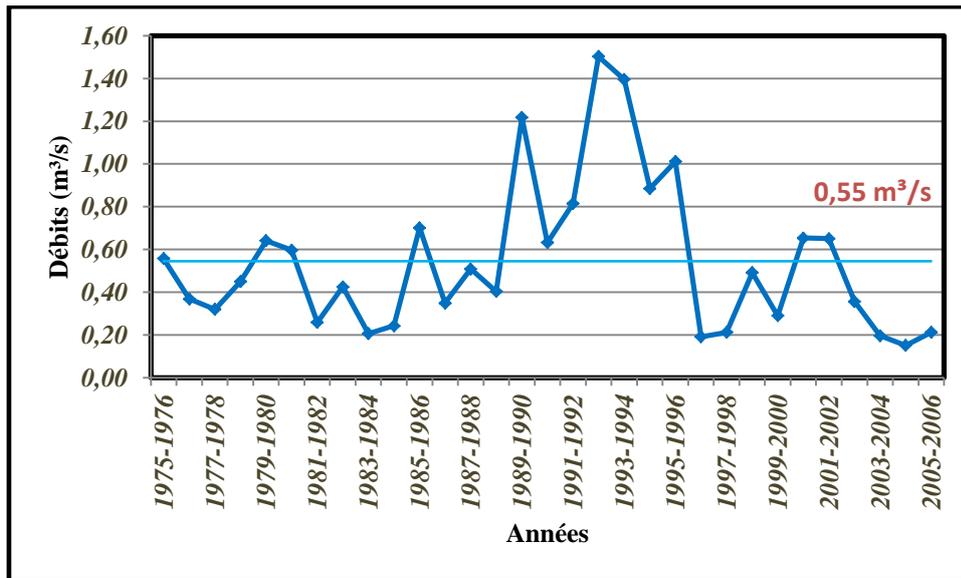


Fig.17 - : Variation des débits moyens annuels (m³/s).

On constate qu’une période excédentaire (1989-1996) où toutes les valeurs annuelles se situent au-dessus de la moyenne (0,55 m³/s). (N. BENADDA., 2014). L’évolution des débits est en relation directe avec les apports par les précipitations saisonnières.

### 6.2 - Variation des débits saisonniers

En considérant les débits moyens saisonniers pour la même série d’observation considérée, on schématise l’évolution hydrologique saisonnière à partir de l’histogramme (fig. 18 ).

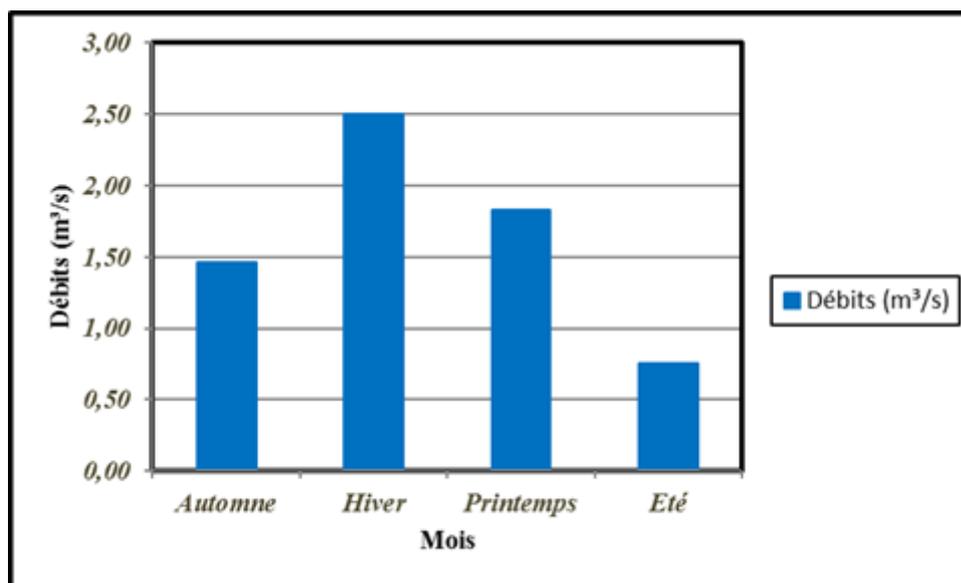
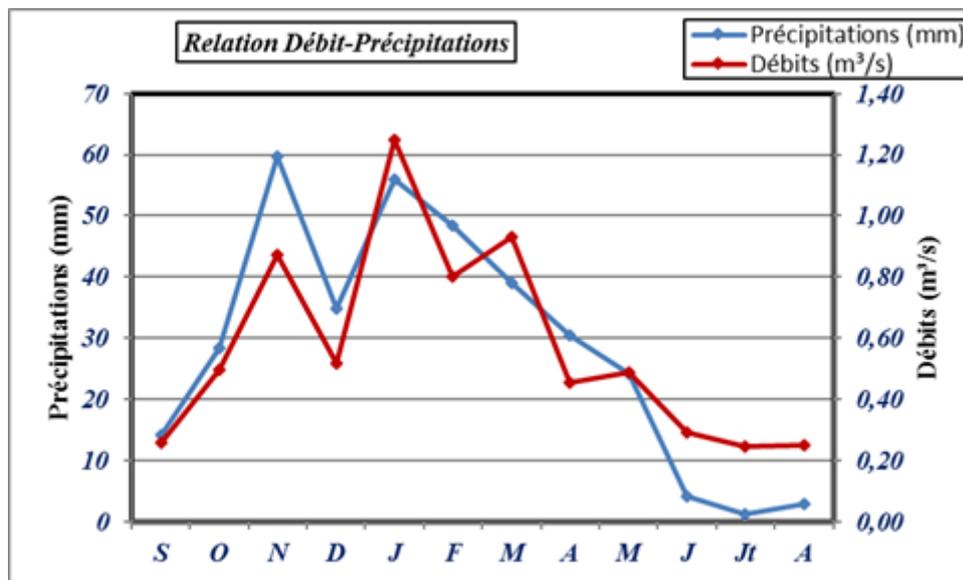


Fig.18 - : Histogramme des débits saisonniers (m³/s).

Il s'avère que le maximum saisonnier se situe en Hiver avec 2,50 m<sup>3</sup>/s et le minimum saisonnier de débit est enregistré en Été avec 0,76 m<sup>3</sup>/s (saison plus sèche). On peut remarquer que l'écoulement manifesté à l'exutoire du bassin en période d'étiage est issu des émergences de sources longeant l'oued El-Maleh.

### 6.3 – Relation précipitations-débits

On peut apprécier cette relation en mettant en parallèle les précipitations et les débits jaugés (fig. 19).



**Fig.19 - : Relation entre les débits moyens mensuels et les précipitations moyennes mensuelles.**

Le rapport entre les débits moyens mensuels et les précipitations moyennes mensuelles montre qu'il existe une relation étroite c'est-à-dire un synchronisme entre les précipitations et les débits. En effet, lorsque les précipitations augmentent le débit de l'Oued El Maleh augmente en même temps ; et les périodes de décrue apparaissent lorsque cessent les précipitations. Cependant, à certaines périodes une part des débits enregistrés est compensée par la vidange des nappes.

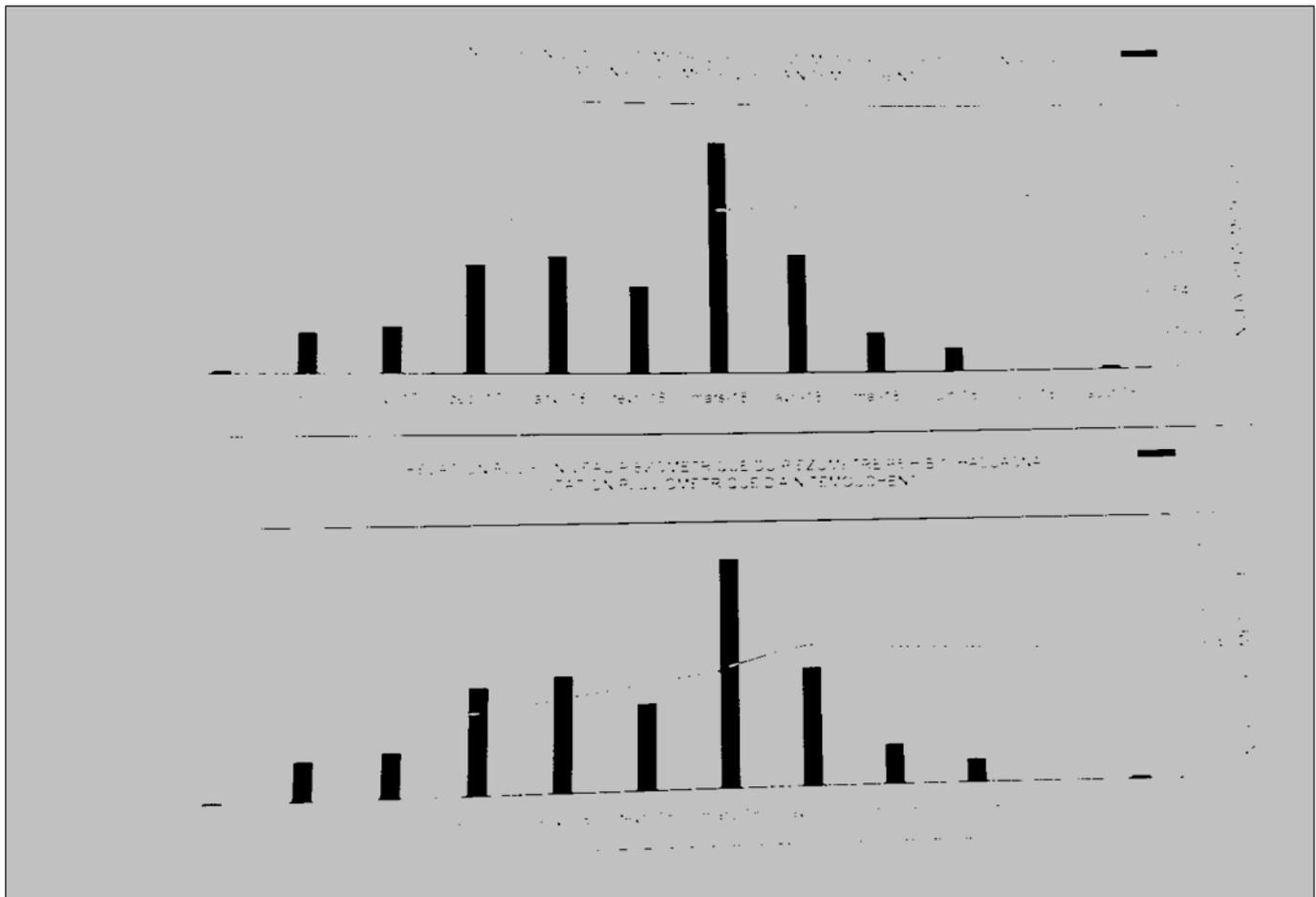
### 6.4 - Relation pluie-niveau piézométrique

La réalisation d'un annuaire piézométrique par le secteur ANRH d'Oran à la fin de chaque année hydrologique est l'occasion de valoriser les données issues du réseau de surveillance des eaux souterraines. En effet, il est indispensable d'analyser l'ensemble des points d'eau de

ces réseaux de surveillance réalisés pour chaque cycle hydrologique, au regard du contexte varié des nappes d'eau souterraine des différents niveaux aquifères en prenant en ligne de compte l'ensemble des données et présenter ainsi un état de la situation des nappes.

Le réseau témoin actuel, pour le suivi piézométrique de la région d'Ain-Temouchent composé de sept piézomètres a débuté durant le mois de Novembre 2004. Durant l'année hydrologique 2017-2018, les niveaux des plans d'eau ont été pratiquement stables ; avec toutefois ; pour quelques points ; une remontée constatée durant les mois de Mars et Avril (2018) ; conséquent à un apport d'eau de précipitations important.

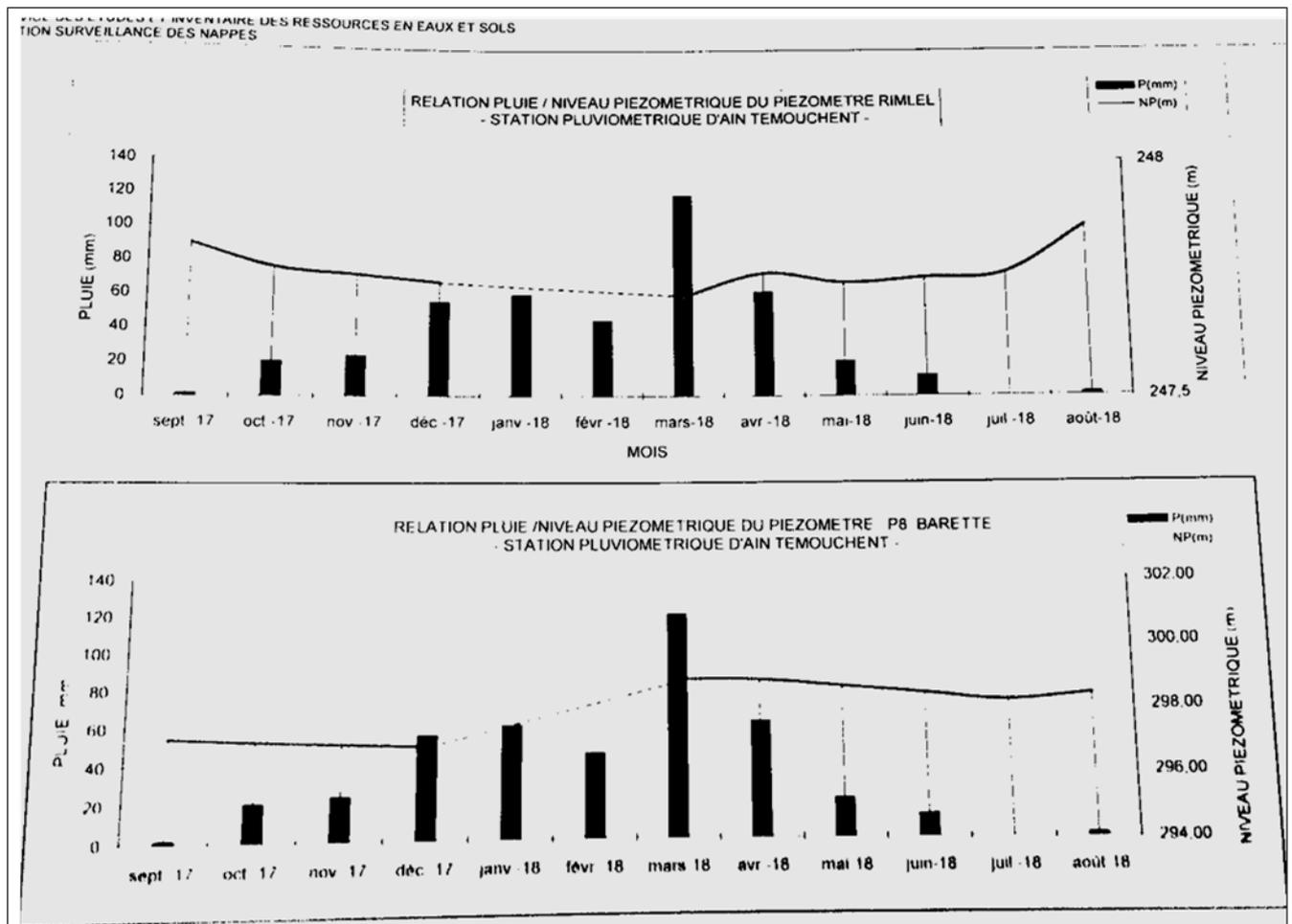
Les différents graphiques dressés (fig. 20) montrent ; en général, une remontée du niveau piézométrique enregistré après chaque période de précipitations assez appréciable. Ce qui implique sur le plan quantitatif une certaine recharge des nappes. Cette alimentation prend différents aspects d'ampleur d'un secteur à un autre ; ceci est en rapport direct avec la nature des aquifères au niveau du bassin de l'oued El-Maleh.



**Fig n°20 Relation Pluie / Niveau piézométrique :P3 Ouled Sidi Ben-Adda et P5 H 6.1(HASSANA) Station pluviométrique d’Ain-Temouchent.**

En effet, dans la région centrale du plateau (Sidi Benadda) où affleurent la formation des basaltes très fissurés, le piézomètre contrôlant le champ captant de la zone d’Ain Tolba –Sidi Ben Adda, a enregistré une baisse du niveau piézométrique d’eau passant de **62,55 m** en 2005 à **59,46 m** en 2018 (en période de hautes eaux) ; soit un rabattement de plus de trois mètres. Ceci peut être expliquée par les prélèvements accrues durant cette période.

Dans certains piézomètres (fig. 21), une légère remontée du niveau piézométrique a été constaté elle serait due soit à la mise en veille (ou à l’arrêt) de plusieurs forage d’AEP par la DRE, soit à la suite de l’entrée en service du dessalement, soit à une bonne réalimentation des aquifères surveillés. Aussi la protection rigoureuse des forages d’AEP en service par la mise en place de périmètres de protection a contribué à cet état de fait au (Cas des piézomètres Rimlel et Ouled Sidi Ben Adda surveillant la nappe de la région de ‘Ouled Thaoui-Ouled Boudjema).



**Fig n°21 Relation Pluie / Niveau piézométrique : Rimel et P8 Barette Station Pluviométrique D'Ain-Temouchent**

Pour les autres secteurs la réaction des horizons aquifères était relativement faible ; la remontée enregistrée étant négligeable du fait de l'exploitation intensive et continue des ressources en eau souterraine par les différents utilisateurs.

Cette situation sensiblement stabilisée de l'état piézométrique des nappes dans la plupart des secteurs concernés montre la contribution manifeste des eaux superficielles à la réalimentation des différents niveaux aquifères affleurant en surface (calcaires, grès et sables, basaltes).

## CHAPITRE 3 - HYDROGEOLOGIE

### 1 - Identification des aquifères

L'étude géologique complétée par les observations faites sur les forages (figure.28) a permis d'individualiser les formations perméables suivantes :

- Aquifère des alluvions quaternaires.
- Aquifère des basaltes Plio-Quaternaires.
- Aquifère des sables et grès du Pliocène.
- Aquifère des calcaires du Miocène supérieur.
- Aquifère des calcaires et grès d'Oligo-Miocène.
- Aquifère du Jurassique inférieur (Lias).

#### 1.1 - Aquifère des alluvions Quaternaires

Le Quaternaire est représenté par des alluvions et sédiments de pente, limons sableux, sables argileux et poudingues. C'est une formation semi-perméable qui peut présenter localement une perméabilité importante, se localisant essentiellement dans la région de Terga, la plaine de la M'Leta et vers les vallées des Oueds, ainsi qu'au secteur de Hassi El Ghalla et à l'Est de Boutlélis où les alluvions anciennes sont alimentées par l'aquifère des sables et grès du Pliocène. Les apports d'eaux douces de l'aquifère des calcaires miocènes permettent d'obtenir des mélanges acceptables et d'augmenter les réserves (H.P.O d'Oran).

Les alluvions composées d'argiles rouges à galets en bordure de la sebkha contiennent une nappe peu profonde salée.

Le Calabrien comprend les alluvions et sédiments de la marge continentale, sables à Hélix indurés des grès, galets et des carapaces calcaires.

#### 1.2 - Aquifère des basaltes Plio-Quaternaires

Les basaltes requièrent une grande importance sur le plan des ressources en eau principalement en raison de leur extension dans la région. Le substratum de cette formation varie suivant la localisation : ce serait parfois les formations sableuses du Pliocène et parfois les calcaires et les marnes du Miocène. On distingue trois niveaux aquifères avec de bas en haut :

- Tufs basaltiques : formation légère et tendre, formée à la base de matériaux grossiers et au sommet apparaissent certains plus fins tels que les cinérites. Ces tufs d'origine phréatomagmatique présentent une bonne perméabilité d'interstices.
- Scories: composées d'éléments cimentés, de tailles variables (épaisseur de 5 à 10 m), caractérisées par une perméabilité d'interstices appréciable.
- Coulées : occupent de vastes étendues et se disposent en dalles massives. Comportant un réseau de fissures très dense et d'orientations différentes. Ces coulées ayant une perméabilité de fissures sont à l'origine de plusieurs émergences le long des Oueds (Sennâne, Souf et Tell).

### **1.3 - Aquifère des sables et grès du Pliocène**

Le Pliocène est constitué, dans l'ensemble, par une alternance de sables, grès et des marnes, qui surmontent les calcaires du Miocène supérieur du djebel Kéroulis (Djebel El Maïda). C'est un aquifère à perméabilité d'interstices renfermant une nappe dont l'écoulement se dirige du Nord vers le Sud, une partie de l'alimentation se fait par les calcaires blancs messéniens.

Dans la région de Sassel, l'écoulement de la nappe se fait du Nord- Est vers le Sud- Ouest, une partie de ces eaux s'écoule vers la mer, l'autre partie s'écoule vers la vallée de l'Oued El Maleh (H.P.O d'Oran).

### **1.4 - Aquifère des calcaires du Miocène supérieur**

L'ensemble sommital carbonaté du Miocène supérieur comprend des calcaires friables, crayeux à algues, parfois gypseux, d'une couleur blanchâtre. Cette formation carbonatée affleure dans la région d'Aïn Temouchent entre Sidi Safi et Terga. Il s'agit de calcaires fortement fissurés et parfois karstifiés, manifestant une perméabilité élevée avec un pendage orienté vers le Nord- Est. Ils sont recouverts vers le Sud d'Aïn Temouchent et Sidi Ben Adda par les épanchements volcaniques qui les suralimentent ; cet ensemble forme ainsi un système aquifère bicouche à nappe libre.

### **1.5 - Aquifère des calcaires et grès de l'Oligo-Miocène**

Il s'agit d'alternance de marnes, de calcaire gréseux et grès à ciment calcaire qui affleurent au niveau d'Aghlal et Oued Berkeche. Cet aquifère de moindre importance ne

présente que des nappes perchées et superposées d'extension réduite, donnant naissance à des sources de déversement à débits très modestes (H.P.O d'Oran).

### 1.6 - Aquifère liasique

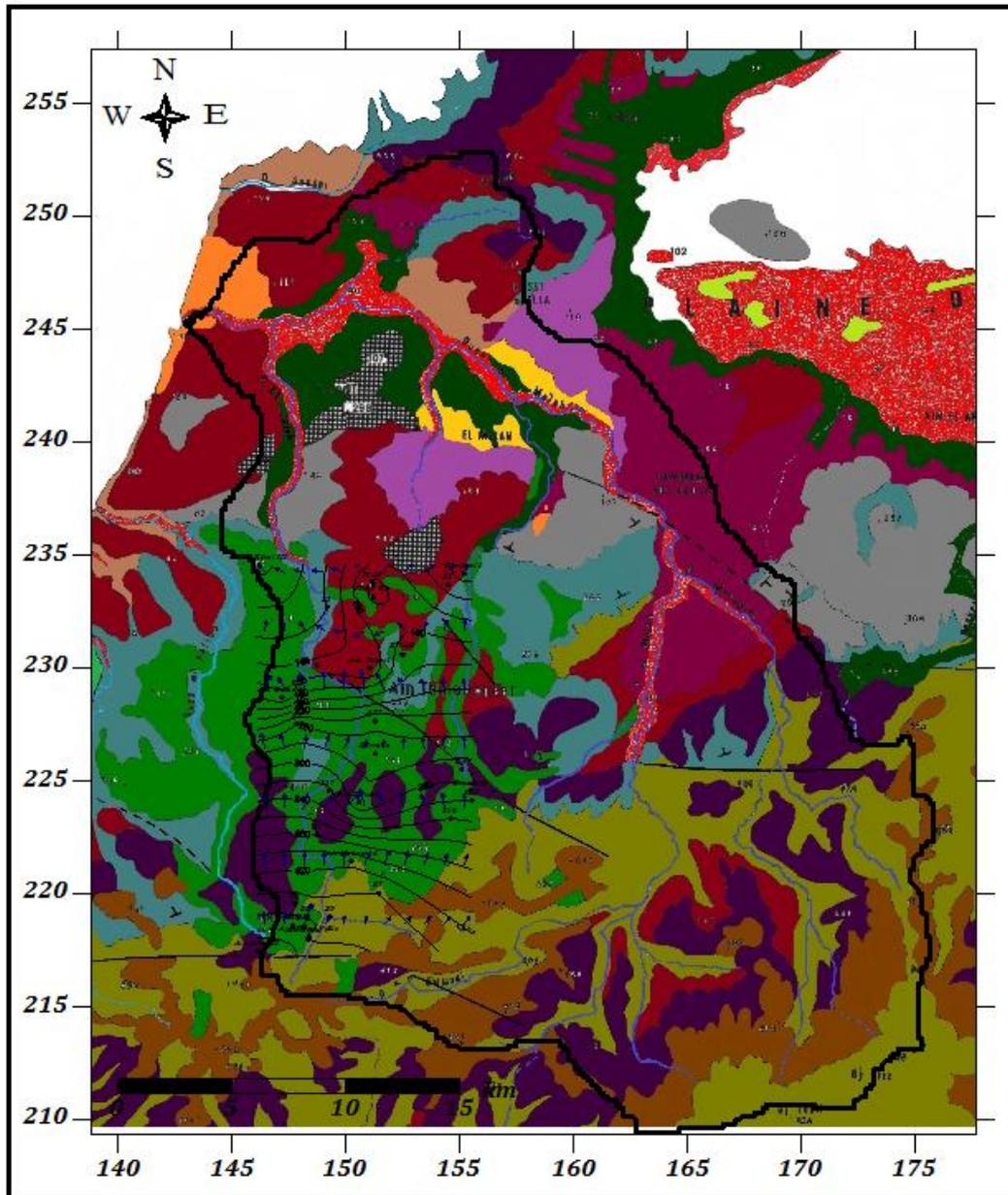
Le Jurassique inférieur intéresse le massif d'El Malah (les Djebels de Sidi Kassem, Mengel, Touita) et Djebel Tounit, formés de séries carbonatées qui reposent sur la série primaire schisto-gréseuse. Cette formation carbonatée du Lias se présente en un ensemble fracturé donnant naissance à quelques sources telle que la source d'Ain Tounit (X = 151,051km, Y= 229,870km).

Ces différents aquifères centrés au niveau du bassin de l'oued El-Maleh sont, d'une part, en parfaite interconnexions entre eux et d'autre part, en relation réciproque directe avec les eaux de surface véhiculées par l'oued El-Maleh.

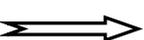
### 2 - Piézométrie

Sur la base de données récoltées d'une campagne piézométrique réalisée par les services de l'ANRH en 2005, une carte en courbes hydroisohypses a été établie sur un support de la carte géologique (fig.22). La morphologie de la surface piézométrique permet de faire les observations suivantes :

- L'écoulement majeur des eaux souterraines s'opère du Sud au Nord selon un important axe de drainage entaillant essentiellement la formation des basaltes jusqu'au niveau de région de Ain-Temouchent. A ce niveau, les eaux de surface épousent l'écoulement souterrain.
- Au-delà, plus au Nord, les lignes de courants divergent, une partie des eaux est drainée vers le Nord- Est, l'autre est véhiculée vers le Nord-Ouest.
- Les dépressions apparaissent généralement en courbes elliptiques, ces anomalies peuvent être due à des pertes profondes (calcaires karstifiés ou basaltes très fissurés) ; à des diminutions locales de la perméabilité (lentille imperméable); à des dépressions du substratum induré imperméable; et plus fréquemment à des pompages excessifs (cône de dépression).
- Au Nord- Est, les sables et grès du Pliocène de la région sud de Douar Taoui drainent les eaux issues des calcaires miocène pour alimenter à leurs tour la vallée d'Oued El Maleh alors que d'autres venues d'eaux souterraines du Sud contribuent à l'alimentation de l'Oued El-Maleh qui constitue le collecteur principal des eaux au niveau du bassin.

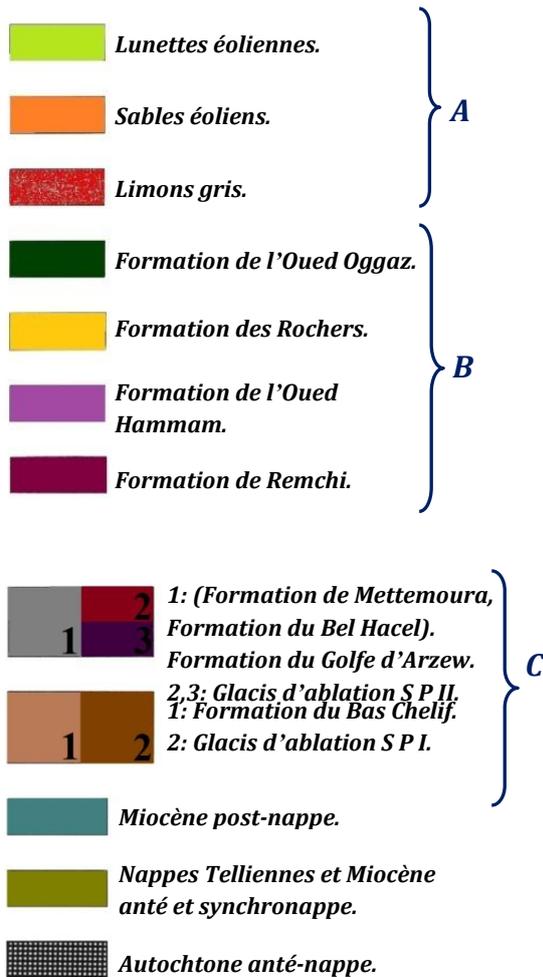


*LA LÉGENDE:*

- |   |   |   |                                |   |                           |
|---|---|---|--------------------------------|---|---------------------------|
|  | 100 : Courbe isopièze.                    |  | : Axe de drainage.             |  | : Direction d'écoulement. |
|  | : Ligne de partage des eaux souterraines. |  | : La limite du Bassin versant. |  | : Point d'eau.            |
|   |   |   |                                |  | : Ville.                  |

**Fig.22: Carte hydrogéologique du bassin versant d'Oued El Maleh "nappe du Plio-Quaternaire" (Piézométrie , 2005).**

LITHOSTRATIGRAPHIE:



**A: HOLOCÈNE.**

**B: PLÉISTOCÈNE MOYEN ET SUPÉRIEUR.**

**C: PLIOCÈNE ET PLÉISTOCÈNE INFÉRIEUR.**

**VOLCANISME:**

 Épanchements alcalins Plio-pléistocène.

**3 – Caractéristiques hydrodynamiques**

Nous avons disposé des données d'un essai de pompage réalisé sur un forage de 450 m linéaire de profondeur, implanté dans la région d'Aghlal (  $X = 157.050\ m$  ;  $Y = 216.100\ m$ ). Le niveau statique dans l'ouvrage est fixé à 40 m.

3.1 - Essai par paliers

Le pompage d'essai au niveau du forage d'Aghlal qui capte le Pliocène a été effectué avec trois paliers d'une durée de 22 heures. Les résultats obtenus sont reportés au tableau n°26.

Tab.26 - : Résultats d'essai de pompage par paliers de débit pour le forage d'Aghlal.

	1 <sup>er</sup> Palier	2 <sup>ème</sup> Palier	3 <sup>ème</sup> Palier
Durée de pompage (h)	6	5	11
Débit (m <sup>3</sup> /h)	21,6	36,0	46,8
Niveau statique (m)	40	40	40
Niveau dynamique (m)	52,49	68,77	119,08
Rabatement (m)	12,49	28,77	79,08

3.1.1 - Représentations graphiques et interprétations

- Droite: débit/rabatement ( $S = f(Q)$ )

La courbe caractéristique du puits  $S = f(Q)$  (fig.23) permet d'estimer le débit critique pour fixer le débit maximum d'exploitation.

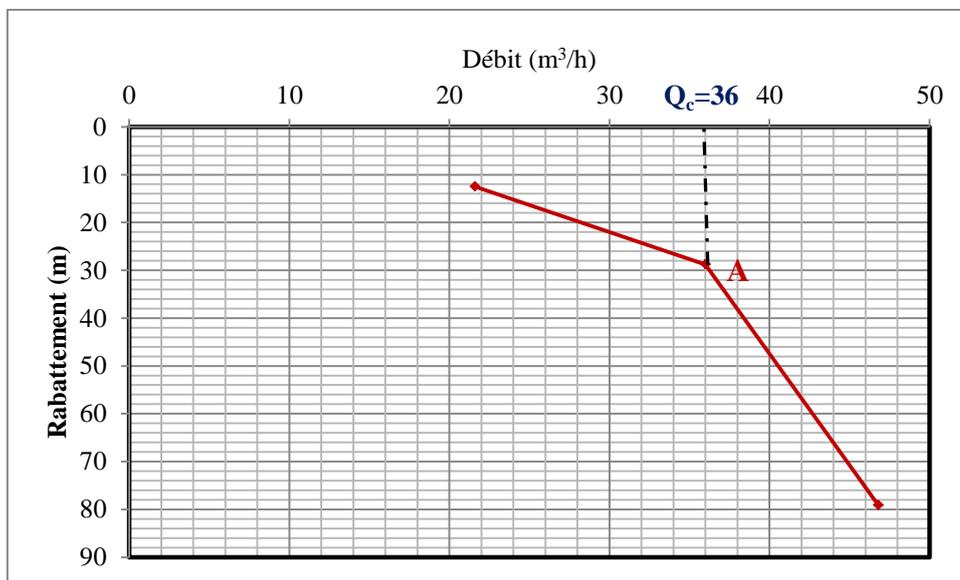


Fig.23 - : Courbe caractéristique (débit/rabatement).

D'après la courbe ci-dessus :

- le débit critique :  $Q_c = 36 \text{ m}^3/\text{h}$ .

- le débit d'exploitation :  $Q_e = Q_c - 5\% \Rightarrow Q_e = 34,2 \text{ m}^3/\text{h}$ .

**- Les pertes de charge**

Le calcul des pertes de charge repose sur le rabattement spécifique ( $S/Q$ ) qui représente la valeur du rabattement mesurée dans le forage rapporté au débit pompé ( $Q$ ). Les résultats sont résumés au tableau n°27.

Tab.27 - : Calcul du rabattement spécifique.

	1 <sup>er</sup> Palier	2 <sup>ème</sup> Palier	3 <sup>ème</sup> Palier
S (m)	12,49	28,77	79,08
Q (m <sup>3</sup> /h)	21,6	36	46,8
S/Q ((h.m)/m <sup>3</sup> )	0,58	0,80	1,69

La droite obtenue (fig.24) permet de déterminer les coefficients "B" et "C" de l'équation:

$$\frac{S}{Q} = B + CQ \Rightarrow S = BQ + CQ^2$$

**B = 0,24**

**C = 1,55 × 10<sup>-2</sup>.**

Donc, l'équation de la droite représentative pour notre forage est :  $S = 0,24Q + (1,55 \times 10^{-2})Q^2$ .

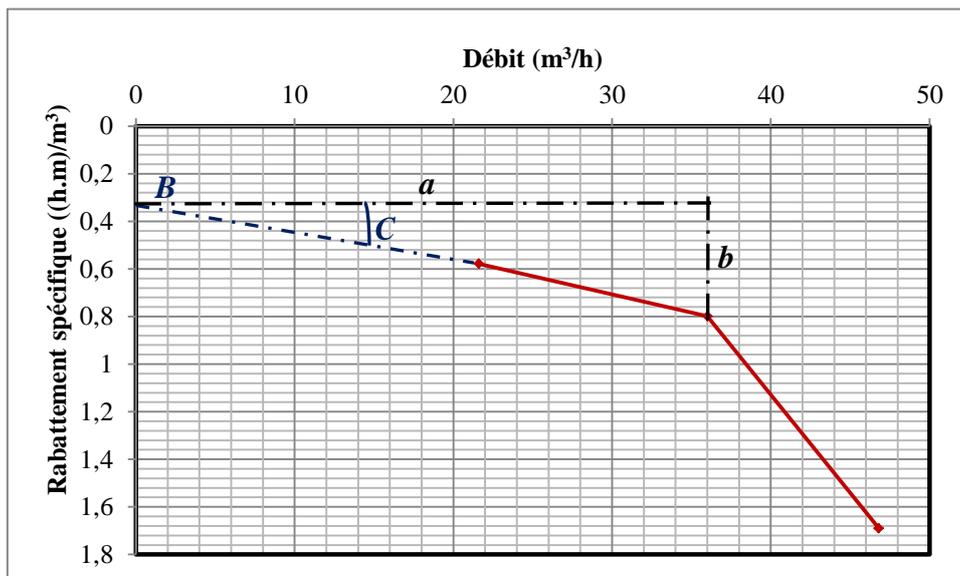


Fig.24 -: Courbe débit/rabattement spécifique.

### 3.2 – Essai de nappe

Un pompage d'un seul palier avec une durée de 72 heures a été réalisé à débit constant de 14 L/s sur le forage d'Aghlal, comprenant un contrôle (un suivi) du niveau de la nappe dans l'ouvrage lui-même ainsi que celui des débits exhaurés. Dans ce cas, on utilise la méthode de Jacob pour l'interprétation des mesures de la descente pendant le pompage.

#### 3.2.1 - Représentation graphique des données et interprétation

Les données du pompage d'essai de la descente (annexe IV) sont représentées sur un graphique semi logarithmique (figure.25) qui admet une descente progressive dans l'ouvrage.

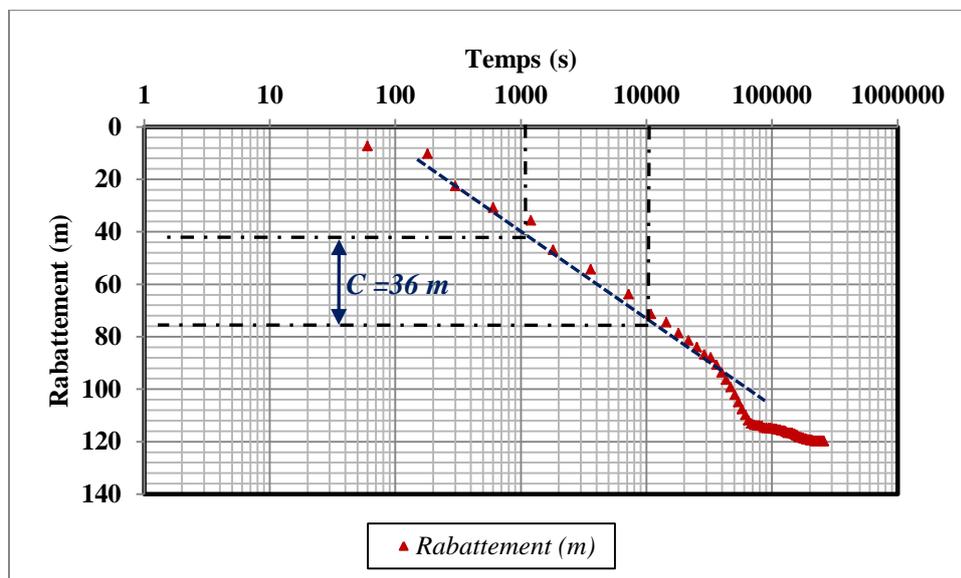


Fig.25 - : Courbe de descente du pompage d'essai longue durée.

La courbe représentative de l'essai présente une partie rectiligne pendant les premières 11 heures du pompage permettant le calcul des paramètres caractéristiques de la nappe suivi d'un dédoublement de la pente puis une tendance vers un léger retour aux conditions initiales, ce qui suggère le schéma d'un type de nappe semi-captive.

Le Calcul de la transmissivité "T": exprimée en  $m^2/s$  peut être calculée par l'expression

suivante :

$$T = 0,183 \frac{Q}{C}$$

Avec:

Q: débit du pompage ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

C: pente de la droite représentative soit le rabattement correspondant à un cycle logarithmique.

D'où :  $T = 7,93 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

Cette valeur traduit une bonne perméabilité de l'aquifère

### **Conclusion**

La carte hydrogéologique établie selon l'étude des aquifères a permis de suivre l'évolution des eaux dans leur ensemble, l'écoulement se ferait donc du Sud vers le Nord.

La nappe du Plio-Quaternaire s'écoule vers le Nord-Ouest, elle reçoit des écoulements souterrains provenant du Sud à partir des versants constitués de formations du Pliocène et celles du Miocène.

L'alimentation de la nappe se fait de deux manières, directe par les eaux de pluie à la faveur de l'impluvium des formations affleurantes à caractère perméable ; et indirectement par les eaux qui dévalent des massifs bordiers à travers le réseau hydrographique. En plus il existerait des échanges inter-nappes latérales ou par drainance du système d'horizons aquifères superposés.

L'aspect hydrodynamique a été basé sur l'interprétation des données d'un pompage d'essai réalisé au forage d'Aghlal, ce qui a permis d'estimer la transmissivité à partir de la courbe de descende, évaluée à  $7,93 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  dénotant d'une bonne perméabilité du système aquifère. L'allure de la courbe interprétative de cet essai suggère le schéma d'un type de nappe semi-captive.

Il s'avère que les différents aquifères centrés au niveau du bassin de l'oued El-Maleh sont, d'une part, en parfaite interconnexions entre eux et d'autre part, en relation réciproque directe avec les eaux de surface véhiculées par l'oued El-Maleh.

#### **4 – Cadre hydrochimique**

Le contexte hydrochimique à l'échelle du bassin versant d'Oued El Maleh a permis de synthétiser les caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines et leur potabilité, et de les confronter avec la nature lithologique des différentes formations hydrogéologiques constituant les principaux aquifères. Ceci a permis d'apprécier l'évolution de la chimie des eaux en rapport avec l'écoulement des eaux superficielles et souterraine.

L'analyse des eaux a porté sur les échantillons prélevés au niveau des différents points d'eau (puits, forages, sources) appartenant à différents aquifères ainsi qu'au niveau des eaux superficielles du bassin versant d'Oued El Maleh (fig.26). Les analyses ont été réalisées au laboratoire de chimie de l'A.N.R.H d'Oran et celui de l'A.D. E d'Aïn-Temouchent.

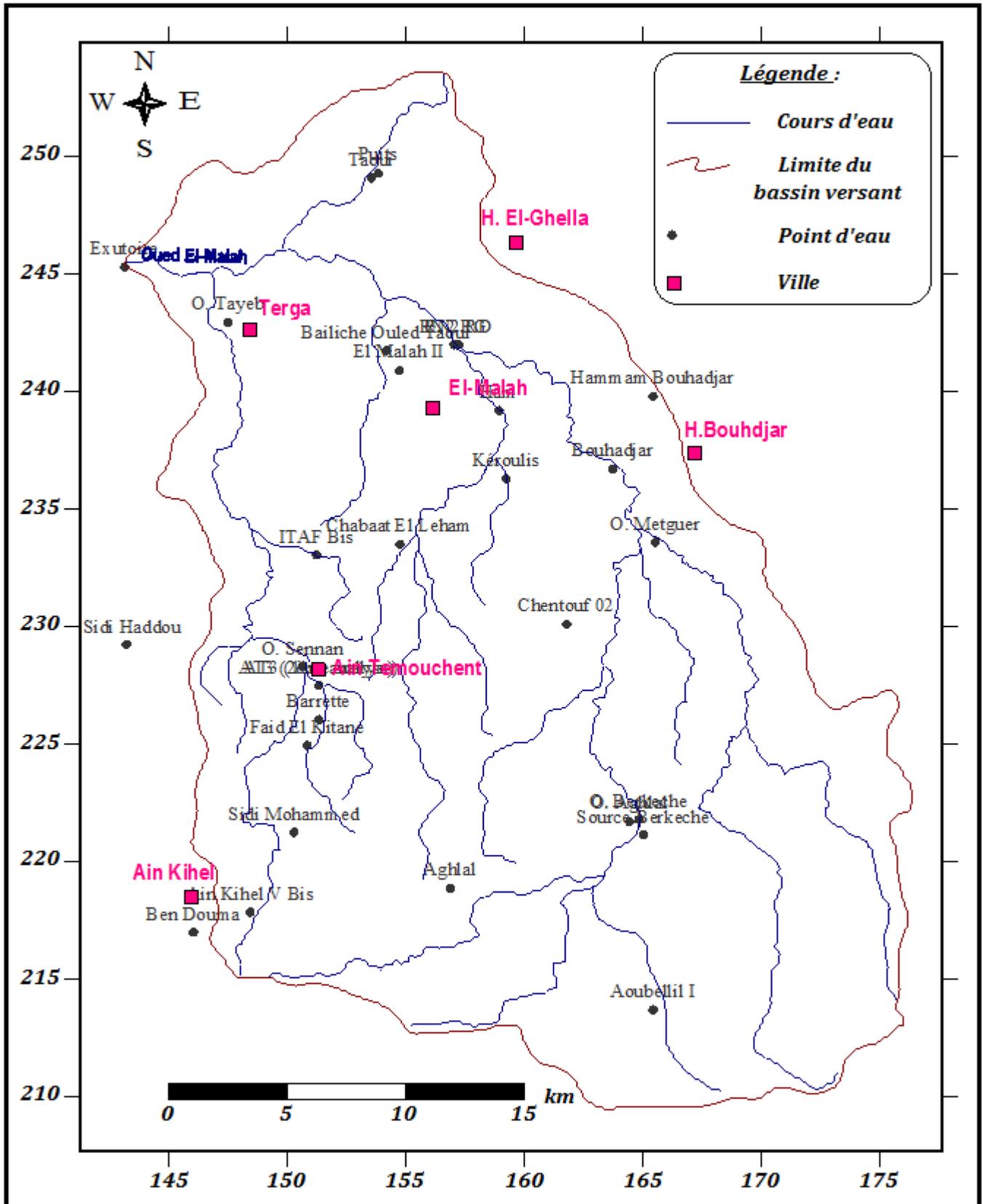


Fig.26 - : Localisation des points d'eau étudiés au niveau du Bassin versant d'Oued El Malah.

## 4.1 - Caractéristiques physicochimiques

### 4.1.1 - Paramètres physiques

#### A. Eaux souterraines

##### - Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH varie entre 7,25 et 8,1 pour l'aquifère du Plio-Quaternaire ; entre 6,99 et 8,2 pour les calcaires du Miocène ; il est compris entre 7,14 et 8 pour les alluvions quaternaires et de 7,35 à 7,8 pour les eaux des grès et sables du Pliocène. Dans l'ensemble les valeurs du pH ne dépassent pas les normes de la réglementation de potabilité.

##### - Conductivité et minéralisation

Minéralisation globale est la teneur en sels dissous d'une eau, elle dépend généralement des différentes couches géologiques traversées ainsi que de la charge physico-chimique et biologique des eaux d'infiltration.

La conductivité ainsi que la minéralisation sont liées au contexte lithologique, elles varient selon les formations traversées :

- **Eaux du Plio-Quaternaire** : on constate que la majorité des valeurs de la conductivité sont supérieures à 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indiquant une minéralisation élevée par contre le point d'eau « Sidi Mohammed » montre une teneur plus faible comprise entre 666 et 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en rapport avec la formation aquifère des basaltes fissurés.
- **Eaux des calcaires miocènes** : les valeurs de la conductivité sont comprises entre 1770 et 4800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ce qui implique une minéralisation élevée. Cela est due à la présence du niveau alluvionnaire sud-jacent.
- **Eaux des alluvions quaternaires** : les valeurs de la conductivité sont supérieures à 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ce qui indique une minéralisation élevée. Il s'agit-là d'une nappe superficielle en contacte directe avec les eaux de surface.
- **Eaux du Pliocène** : la conductivité varie entre 1960 et 3630  $\mu\text{S}/\text{cm}$  signifiant une minéralisation très élevée liée à l'omniprésence des alluvions quaternaires.

En général, la minéralisation élevée peut être expliquée soit par la durée de contact des eaux avec les formations aquifères, soit par la facilité de mise en solution des éléments constructifs de ces roches ainsi qu'à la forte teneur en chlorures et en sodium des niveaux superficiels.

Cependant, les eaux de faible minéralisation se manifestent généralement dans les formations basaltiques à très forte fissuration.

Dans l'ensemble, la minéralisation évolue graduellement du Sud vers le Nord suivant le sens d'écoulement des eaux superficielle et souterraine.

### **B. Eaux superficielles**

#### **- Potentiel d'hydrogène (pH)**

Les valeurs du pH sont généralement faibles.

#### **- Conductivité et minéralisation**

Les valeurs de la conductivité sont particulièrement élevées elles oscillent entre 1980 à 9320  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### **4.2 - Paramètres chimiques**

Les paramètres chimiques mesurés concernent:

- ✓ Les cations:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ .
- ✓ Les anions:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ .

#### **4.2.1 - La balance ionique**

Les analyses physico-chimiques des eaux superficielles et souterraines contrôlées par la balance ionique montrent des valeurs généralement ne dépassant pas 5% ; ce qui indique que les résultats d'analyses sont bonnes à acceptables.

#### **4.2.2 - Eléments majeurs**

##### **4.2.2.1 - Eaux souterraines**

#### **- Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )**

Les eaux des grès et sables du Pliocène ainsi que celle des basaltes enregistrent des teneurs sensiblement faibles comprises entre 26 et 130 mg/L. Tandis-que les eaux de la nappe miocène montrent des teneurs plus élevées atteignant 278 mg/l.

En ce qui concerne les alluvions quaternaires elles montrent des concentrations excessivement élevées atteignant environs 500 mg/l.

- **Magnésium ( $Mg^{2+}$ )**

Les teneurs en magnésium des eaux évoluent de la même façon que celles du calcium ; elles oscillent entre 18 et 176 mg/l.

Les variations de ces deux éléments chimiques ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) manifestées par les eaux des différents niveaux aquifères montrent leur relation hydrodynamique intime et leurs interconnections.

- **Sodium ( $Na^+$ )**

Les résultats obtenus montrent des teneurs comprises entre 90 et 4140 mg/l. Les faibles concentrations sont marquées par les eaux des grés pliocènes ; les plus fortes sont issues des alluvions quaternaires ; alors que les calcaires miocènes montrent des valeurs moyennes.

Là encore, le contraste des teneurs manifestées témoigne de la relation directe entre les différents niveaux de nappes.

- **Potassium ( $K^+$ )**

Le potassium résulte de l'altération d'argiles potassiques. Les teneurs en  $K^+$  sont en général faibles, elles varient entre 6 et 44 mg/L. Les fortes teneurs s'observent généralement au niveau des basaltes et des alluvions quaternaires.

- **Chlorures (Cl)**

Ils montrent des teneurs allant de 170 jusqu'à 7132 mg/l. Les eaux des alluvions enregistrent les plus fortes valeurs parmi les autres nappes ; cela est en rapport avec le caractère libre de leur nappe qui est en relation directe avec les eaux de surface souvent très chargée

- **Les bicarbonates ( $HCO_3^-$ )**

Les résultats obtenus indiquent des teneurs variant de 259 à 674. Il semble difficile de distinguer entre les concentrations des différents niveaux de nappes ; cela est due à leur continuité hydraulique au sein de leur système aquifère.

**- Les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )**

Leurs concentrations varient de 24 à 864 mg/l. Les plus faibles valeurs se montrent dans les eaux des calcaires miocènes et des grés pliocènes. Cependant, pour les alluvions les teneurs sont excessivement élevées à cause de l'activité agricole très répandue dans la région et les venues d'eaux usées et industrielles véhiculées par les Oueds.

**4.2.2.2 Eaux superficielles****- Calcium**

On distingue des valeurs comprises entre 58 et 471 mg/L où la plus forte teneur se situe à Oued Metguer.

**- Magnésium**

On remarque des concentrations allant de 64 à 301 mg/L dont la plus faible est celle d'Oued Sennane.

**- Sodium**

Les teneurs en  $\text{Na}^+$  sont comprises entre 306 et 1806 mg/L. Ces valeurs élevées du sodium sont en rapport avec les activités agricoles et industrielles ainsi que les rejets d'eaux usés dans le réseau aérien.

**- Potassium**

On constate des teneurs sensiblement faibles variant entre 12 mg/L au niveau d'Oued Aghlal et 39 mg/L au point « Hamam B ».

**- Chlorures**

Le maximum apparaît à l'exutoire du bassin avec une teneur égale à 3344 mg/L ; alors que le minimum est enregistré à l'Oued Sennane (369 mg/L).

**- Bicarbonates**

La plus forte valeur est observée à Oued Tayeb avec 913 mg/L en présence de la nappe des calcaires et la moins forte de l'ordre de 178 mg/L à l'Oued Berkeche.

**- Sulfates**

La teneur maximale en  $\text{SO}_4^{2-}$  apparaît à Oued Berkeche avec 768 mg/L au niveau d'une zone à vocation agricole, et la plus faible teneur (56 mg/L) à l'Oued Tayeb traversant les calcaires miocènes.

**4.3 - Détermination des faciès chimiques**

Les principaux faciès hydrochimiques des eaux Superficielles et souterraines rencontrés dans le bassin versant d'Oued El Maleh sont présentés respectivement aux tableaux 28 et 29.

**Tab.28 - : Faciès chimiques des eaux superficielles du bassin versant d'Oued El Maleh**

<b>Faciès chimique</b>	<b>Formule caractéristique</b>	<b>Points d'eau</b>
<b>Chloruré Sodique</b>	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+}$	O. Aghlal - Exutoire - O. Metguer - RN2 RD - O. Tayeb
	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	Bouhadjar - O. Sennan
	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^- > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	O. Berkeche
	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{CO}_3^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	Ham
	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{CO}_3^{2-} > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	RN2 RG

Tab.29- Facies chimiques des eaux souterraines du bassin versant d'Oued El Maleh

Aquifère	Faciès chimiques	Formule caractéristique	Points d'eau
Alluvions quaternaires	Chloruré Sodique	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^- > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+}$	El Maleh II
		$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	Bailiche Ouled Taoui
		$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+}$	Hammam Bouhadjar
Plio-Quaternaire	Bicarbonaté Sodique	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-}$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	AT <sub>3</sub> (1 <sup>ère</sup> analyse) - AT <sub>3</sub> (2 <sup>ème</sup> analyse)
		$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	Sidi Mohammed
		$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+}$	Sidi Mohammed+Sidi Boudia
	Chloruré Sodique	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	ITAF Bis - Barrette
		$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+}$	Sidi Haddou
		$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^- > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	Faid El Kitane
	Sulfaté Sodique	$r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+}$	Ain Kihel V Bis
Pliocène	Chloruré Sodique	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	Kéroulis
Miocène	Chloruré Calcique	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ + r \text{K}^+$	Source Berkeche
		$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Ca}^{2+} > r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+}$	Puits
	Chloruré Sodique	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+}$	Aghlal - Chentouf 02
	Chloruré Magnésien	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Ca}^{2+}$	Taoui

Le faciès dominant dans les eaux superficielles est de type chloruré sodique ; alors que les eaux des différentes nappes montrent plusieurs faciès reflétant l'identité lithologique des formations traversées. Néanmoins, le faciès chloruré sodique est omniprésent dans les eaux souterraines traduisant ainsi un apport latéral par les eaux de surface à une partie de la recharge des nappes adjacentes.

### 4.3 - Représentation graphique des faciès chimiques

Nous avons adopté une représentation des résultats sur les diagrammes de Piper.

- En ce qui concerne les eaux superficielles, la représentation sur diagramme Piper (fg.27) admet la prédominance du faciès chloruré sodique, celle-ci montre que la minéralisation des eaux est liée aux cations "sodium+potassium" et aux anions "chlorures". Le faciès chloruré sodique est très remarquable dans la partie Nord du bassin versant. On remarque la dominance des eaux chlorurées sodiques et potassiques ou sulfatées sodiques ainsi que celles chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes.

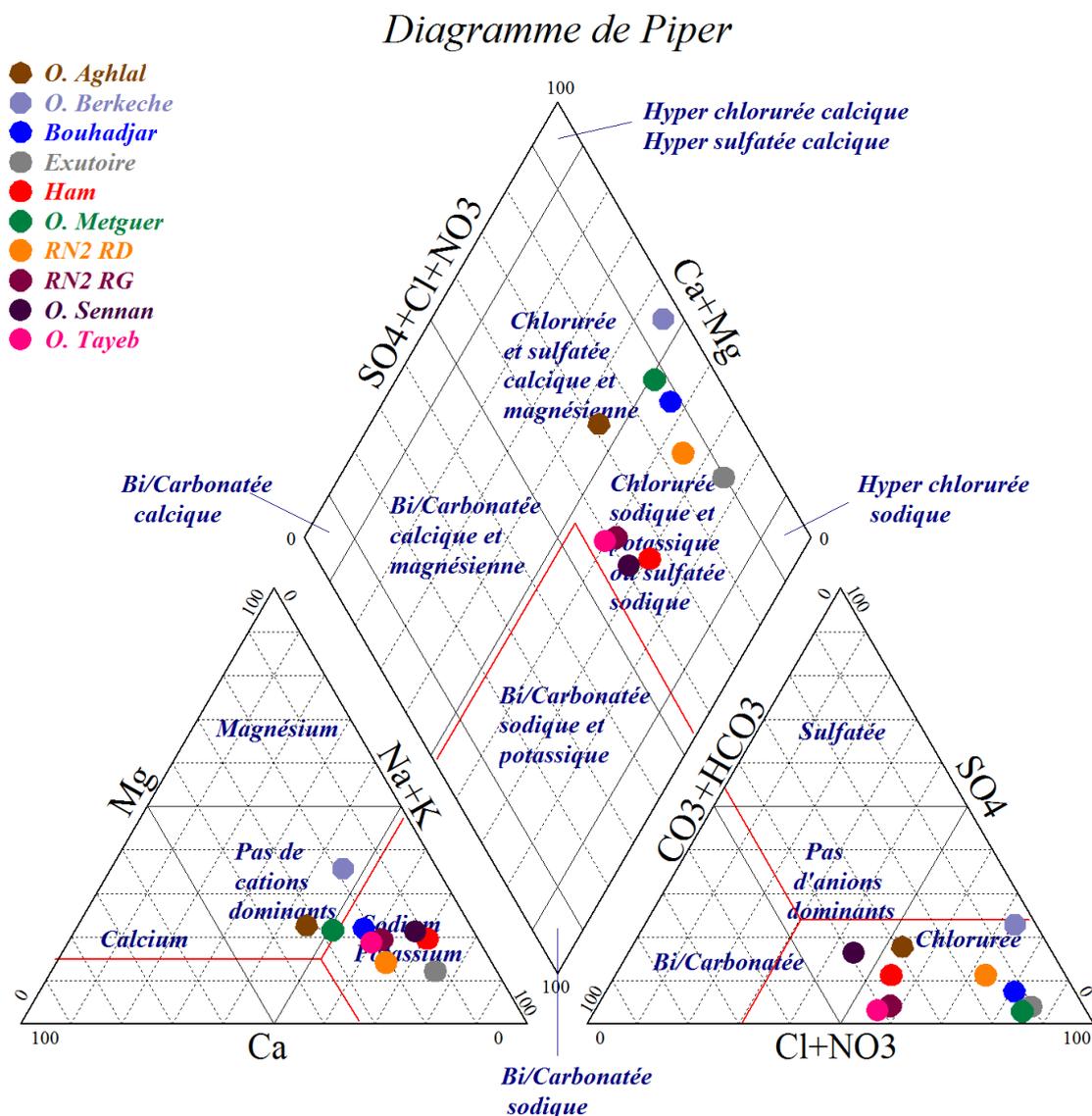
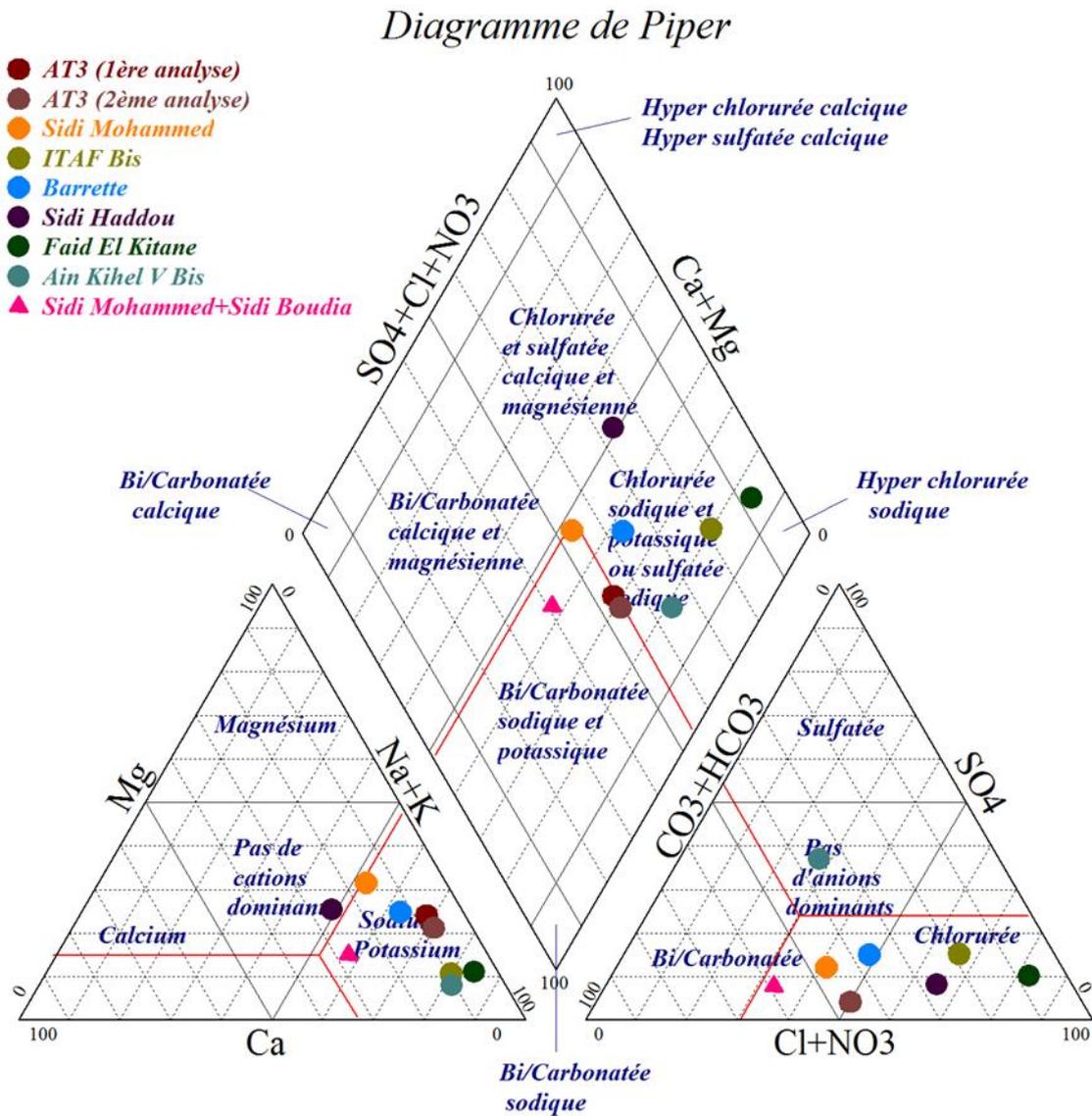
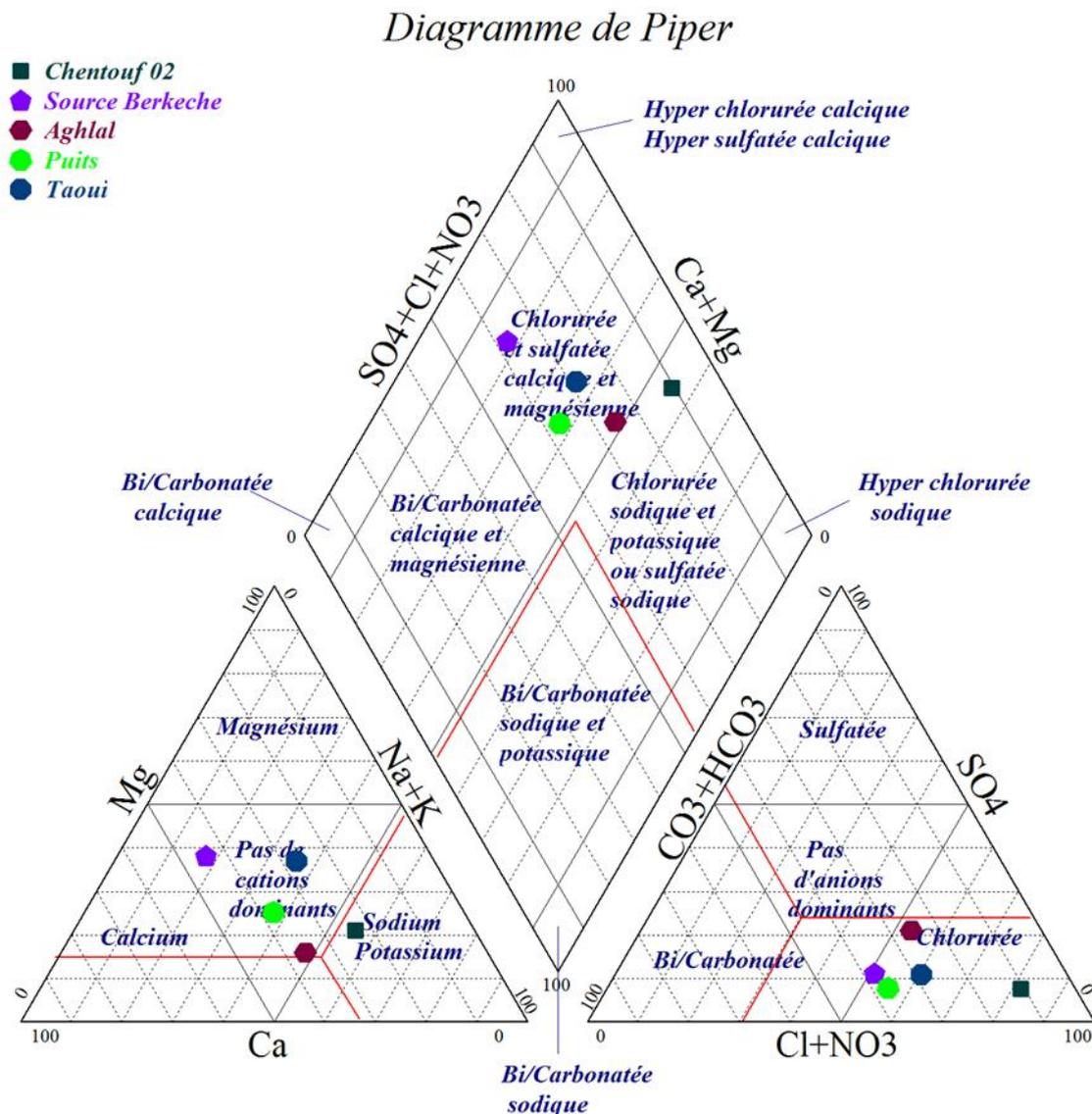


Fig.27: Représentation des eaux superficielles du bassin versant d'Oued El Maleh sur diagramme de Piper.

- Pour les eaux souterraines, nous nous sommes limités à la représentation sur diagramme de Piper (fig. 27-28-29). Il s'avère que les faciès chlorurés sodique et potassique ou sulfaté sodique caractérisent les eaux des différentes nappes au niveau du bassin. Certains faciès, chlorurée et sulfatée calcique ou magnésienne, et parfois bicarbonatée sodique et potassique affichent l'identité des nappes du Pliocène et celles du Miocène. Toutefois, cette évolution de la chimie des eaux dénote du mixage des eaux souterraines entre elles et avec les eaux de surface.



**Fig.28: Classification des eaux du Plio-Quaternaire selon le diagramme de Piper.**



**Fig.29: Classification des eaux du Miocène selon le diagramme de Piper.**

### Conclusion

À partir des analyses physico-chimiques, on peut dire que les eaux du bassin versant d'Oued El Maleh ont :

- Une conductivité comprise entre 700 et 18700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour les eaux souterraines, les fortes valeurs peuvent être liées à une contribution par les eaux superficielles de plus en plus chargées tout le long de leur cheminement par les affluents du Sud au Nord.
- Une minéralisation élevée (595 à 11594 mg/L) caractérise à la fois les eaux souterraines et superficielles (les Oueds), montrant la relation étroite de la dynamique des nappes avec

l'écoulement de surface. En général, l'évolution spatiale de la chimie des eaux est guidée parallèlement par les écoulements superficiel et souterrains.

- La gamme de variation du pH est du même ordre (6,9 à 8,5) pour les eaux véhiculées par les Oueds et celles des nappes, ce qui traduit de fortes interférences entre les deux milieux souterrain et superficiel.

- D'après les faciès chimiques des eaux, on constate une prédominance des ions sodium et chlorures pour la plupart des points d'eau prélevés. Ce faciès confirme l'influence du réseau de surface sur le comportement hydrodynamique des aquifères centrés sur le bassin.

## CONCLUSION GENERALE

Le bassin versant de l'Oued El Maleh est centré sur des terrains de nature lithologique hétérogène (alluvions quaternaires, grès et sables du pliocène, basaltes et calcaires miocènes). Néanmoins, quelques îlots allochtones du Jurassique s'individualisent au centre de la plaine d'El Maleh.

Les résultats des caractéristiques morphométriques montrent que le bassin de l'Oued El Maleh présente une forme moyennement allongée, un relief modéré et une pente globale assez faible. Le chevelu hydrographique présente une hiérarchisation moyenne liée à la fois à la faiblesse des précipitations et la forte perméabilité des formations lithologiques, qui favorise l'infiltration des eaux de pluie au détriment de l'écoulement qui est plutôt limité et centralisé.

Le bassin versant de l'oued El-Maleh jouit d'un climat semi-aride essentiellement pluvieux à humide, parfois à hiver chaud ; et manifestant des influences maritimes et un écoulement temporaire.

On remarque l'irrégularité des apports par les précipitations ; cependant, les conditions de recharge des aquifères principalement à caractère libre, centrés au niveau du bassin de l'Oued El-Maleh, disposant d'une grande inertie leur permettent une sensible résistance à la sécheresse.

Le bilan hydrologique montre un apport annuel par les précipitations de l'ordre de 403 mm, réparti entre l'évapotranspiration estimée à environ 331 mm et les écoulements à 72 mm. Ainsi, la quantité d'eau disponible pour le ruissellement serait de l'ordre de 26 mm/an et l'infiltration égale à 46 mm.

L'évolution des débits mesurés à l'exutoire du bassin est en relation directe avec les apports par les précipitations saisonnières.

Le rapport entre les débits moyens mensuels et les précipitations moyennes mensuelles montre qu'il existe une relation étroite traduite par un synchronisme parfait entre les précipitations et les débits. Cependant, à certaines périodes une part des débits enregistrés est compensée par la vidange des nappes.

Toutefois, on peut constater dans plusieurs cas, une situation sensiblement stabilisée de l'état piézométrique des nappes dévoilant la contribution manifeste des eaux superficielles à la réalimentation des différents niveaux aquifères affleurant en surface (calcaires, grès et sables, basaltes).

La carte hydrogéologique établie selon la synthèse des résultats hydrogéologiques a permis de visualiser la morphologie générale du système aquifère en montrant une dynamique régulière des eaux guidée par un écoulement souterrain majeur s'opérant du Sud vers le Nord et épousant le cheminement du réseau superficiel.

L'alimentation de la nappe se fait de deux manières, directe par les eaux de pluie à la faveur de l'impluvium des formations affleurantes à caractère perméable ; et indirectement par les eaux qui dévalent des massifs bordiers à travers le réseau hydrographique. En plus il existerait

des échanges inter-nappes latérales ou par drainance du système d'horizons aquifères superposés.

De point de vue hydrodynamique la transmissivité a été estimée à  $7,9310^{-4}$  m<sup>2</sup>/s dénotant d'une bonne perméabilité du système aquifère. L'allure de la courbe interprétative de l'essai de pompage considéré suggère le schéma d'un type de système aquifère multicouche à nappes superposées.

Il s'avère que les différents aquifères centrés au niveau du bassin de l'oued El-Maleh sont, d'une part, en parfaite interconnexions entre eux et d'autre part, en relation réciproque directe avec les eaux de surface véhiculées par l'oued El-Maleh.

Le contexte hydrochimique à l'échelle du bassin versant d'Oued El Maleh s'est exprimé par une évolution de la chimie des eaux dénotant l'alliance des eaux souterraines des différents niveaux de nappes entre elles et avec les eaux de surface. En effet, les eaux véhiculées par les Oueds et celles des nappes, enregistrent de fortes interférences entre les deux milieux souterrain et superficiel.

Une minéralisation élevée caractérise à la fois les eaux souterraines et superficielles (les Oueds), montrant la relation étroite de la dynamique des nappes avec l'écoulement de surface. En général, l'évolution spatiale de la chimie des eaux est guidée conjointement par les écoulements superficiel et souterrain.

D'après les facies chimiques des eaux, on constate une prédominance des ions sodium et chlorures pour la plupart des points d'eau prélevés. Ce facies confirme l'influence du réseau de surface sur le comportement hydrodynamique des aquifères centrés sur le bassin.

## Liste des tableaux

Tab.1- : Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued El Maleh.....	P 13
Tab. 2 - Calcul de l'altitude moyenne du bassin versant d'Oued El Maleh.....	P 16
Tab.3- : Classement du relief à partir de la dénivelée spécifique selon la classification de l'ORSTOM.....	P 18
Tab. 4 - Classification du chevelu hydrographique.....	P 20
Tab.5- : Rapport de confluence.....	P 24
Tab.6 - : Présentation de la station de Aïn - Temouchent (I.T.M.A).....	P 27
Tab.7 - : Valeurs des précipitations moyennes annuelles à la station d'Aïn – Temouchent	P 27
Tab .8 - Précipitations moyennes mensuelles à la station d'Aïn - Temouchent.....	P 28
Tab.9 - : Valeurs des précipitations saisonnières à la station d'Aïn - Temouchent.....	P 29
Tab.10 - : Moyennes mensuelles et annuelles des températures, maxima, et minima à la station d'Aïn - Temouchent (1995/1996 – 2011/2012).....	P 31
Tab.11 - Températures et précipitations moyennes mensuelles à la station d'Aïn - Temouchent.	P 32
Tab.12 - : Indice d'aridité de De. Martonne.....	P 33
Tab.13 - : Indices d'aridité mensuels de De. Martonne.....	P 34
Tab.14 - : Indice annuel de Moral.....	P 35
Tab.15 - : Valeurs des indices mensuels de Moral et leurs classifications.....	P 35
Tab.16 – Résultats comparatifs des indices climatiques.....	P 36
Tab.17 - : Valeur de l'ETR (Turc).....	P 37
Tab.18 - : Paramètres du déficit d'écoulement (Coutagne).....	P 37

Tab.19 - : Valeurs de l'ETP à la station d'Aïn - Temouchent (1995-2012).....	P 39
Tab.20 - : Valeur du déficit d'écoulement (D) et du quotient d'écoulement (E).....	P 39
Tab.21 - : Valeur du déficit d'écoulement.....	P 41
Tab.22 - : Éléments du bilan hydrologique (méthode de Thornthwaite).....	P 43
Tab.23 - : Valeur du ruissellement.....	P 43
Tab.24 - : Valeurs de l'infiltration selon les différents auteurs.....	P 44
Tab.25 - : Présentation de la station hydrométrique. ....	P 45
Tab.26 - : Résultats d'essai de pompage par paliers de débit pour le forage d'Aghlal.....	P 56
Tab.27 - : Calcul du rabattement spécifique.....	P 57
Tab.28 - : Facies chimiques des eaux superficielles du bassin versant d'Oued El Maleh ..	P 66
Tab.29- Facies chimiques des eaux souterraines du bassin versant d'Oued El Maleh .....	P 67

## Liste des figures

Fig. 1 – Schéma de localisation du bassin versant de l’oued El-Maleh.....	P 3
Fig. 2 - Délimitation du bassin versant d’Oued El Maleh (H.P.O, 2005).....	P 4
Fig. 3 - Délimitation des principaux sous bassins d’Oued El Malah (H.P.O , 2005).....	P 11
Fig. 4 - Carte hypsométrique du bassin versant d’Oued El Maleh (H.P.O , 2005). ....	P 14
Fig. 5 - Courbe hypsométrique du bassin versant d’Oued El Maleh.....	P 15
Fig. 6 - Réseau hydrographique du bassin versant d’Oued El Maleh (H.P.O , 2005).....	P 19
Fig. 7 - Classification du réseau hydrographique du bassin versant d’Oued El Maleh (H.P.O , 2005).	P 21
Fig.08 - : Rapport de confluence.....	P 25
Fig.9 - : Variations des précipitations moyennes annuelles - station d’Aïn Temouchent (1982 –2012).	P 28
Fig.10: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles, station d’Aïn Temouchent (1982–2012)	P 29.
Fig.11 - Histogramme des précipitations saisonnières ; station d’Aïn - Temouchent (1982-2012). ....	P 30
Fig.12: Variation mensuelle des températures - station d’Aïn - Temouchent (1995/1996 – 2011/2012).	P 31
Fig.13: Diagramme pluvio-thermique de la station de Aïn Temouchent (1995 – 2012).....	P 32
Fig.14 - : Abaque de l’indice d’aridité de De. Martonne, station d’Aïn Temouchent (1995-2012)....	P 34
Fig.15: Abaque de Wundt.....	P 40
Fig.16 - Abaque représentatif du déficit d’écoulement (P. Verdeil, 1988).....	P 41
Fig.17 - : Variation des débits moyens annuels (m <sup>3</sup> /s).....	P 46
Fig.18 - : Histogramme des débits saisonniers (m <sup>3</sup> /s).....	P 47
Fig.19 - : Relation entre les débits moyens mensuels et les précipitations moyennes mensuelles.....	P 48

Fig n°20 Relation Pluie / Niveau piézométrique :P3 Ouled Sidi Ben-Adda et P5 H 6.1(HASSANA)	
Station pluviométrique d'Ain-Temouchent.....	P 49
Fig n°21 Relation Pluie / Niveau piézométrique :Rimel et P8 Barette Station Pluviométrique	
D'Ain- Temouchent.....	P 50
Fig.22 : Carte hydrogéologique du bassin versant de l'Oued El Maleh.....	P 55
Fig.23 - : Courbe caractéristique (débit/rabattement) .....	P 57
Fig.24 - : Courbe débit/rabattement spécifique.....	P 58
Fig.25 - : Courbe de descente du pompage d'essai longue durée.....	P 59
Fig.26 - : Localisation des points d'eau étudiés au niveau du Bassin versant d'Oued El Malah.....	p 62
Fig.27: Représentation des eaux superficielles du bassin versant d'Oued El Maleh sur diagramme de Piper.....	p 70
Fig.28: Classification des eaux du Plio-Quaternaire selon le diagramme de Piper.....	p 71
Fig.29: Classification des eaux du Miocène selon le diagramme de Piper.....	p 72

## ANNEXE I.A

Précipitations moyennes annuelles et mensuelles sur une longue durée (1982-2012) station  
d'Aïn-Temouchent.

Années	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
1982-1983	3,2	17,7	31,1	25,1	0,0	18,9	13,0	4,0	3,8	0,0	2,0	1,6	120,4
1983-1984	0,0	0,2	9,1	17,8	21,5	29,4	15,8	1,0	21,4	1,1	0,0	0,0	117,3
1984-1985	4,1	7,9	124,4	12,0	10,8	8,9	17,9	34,5	17,0	0,4	0,0	0,0	237,9
1985-1986	0,5	0,7	67,9	44,7	70,4	108	56,5	48,1	5,6	2,0	0,0	1,8	406,4
1986-1987	50,8	43,7	57,4	42,0	45,6	102	1,1	0,8	9,7	2,2	18,6	1,7	376
1987-1988	39,0	15,9	55,7	39,6	89,7	13,0	9,9	29,5	40,2	18,1	0,0	0,0	350,6
1988-1989	20,9	2,3	36,9	9,8	38,3	20,4	156	60,0	10,0	0,5	0,5	4,1	359,6
1989-1990	11,2	1,9	10,5	27,6	147,6	0,0	41,0	90,8	27,0	0,0	1,0	0,0	358,6
1990-1991	8,7	7,4	66,1	43,6	69,0	58,0	143	6,6	8,3	0,0	0,0	1,4	411,8
1991-1992	7,2	55,7	50,0	17,6	32,5	20,2	77,0	9,6	99,5	28,1	0,0	0,0	397,4
1992-1993	0,7	13,8	25,5	13,0	4,2	86,3	27,7	48,6	43,6	3,9	1,5	0,3	269,1
1993-1994	6,3	20,5	77,3	5,3	67,0	46,7	5,6	26,9	6,7	0,5	2,8	2,8	268,4
1994-1995	22,7	29,1	24,3	8,5	38,8	94,9	93,3	31,0	0,0	12,7	1,5	0,4	357,2
1995-1996	9,2	10,6	26,0	49,4	66,0	83,1	40,6	24,8	25,6	7,7	0,5	1,7	345,2
1996-1997	42,1	11,6	25,2	62,4	124,2	0,0	0,0	52,5	10,1	1,5	1,0	7,3	337,9
1997-1998	38,7	19,5	90,3	42,7	20,2	38,5	31,2	40,9	30,0	1,1	0,5	1,9	355,5
1998-1999	3,4	9,3	33,9	5,7	141,9	58,6	58,2	0,0	1,5	0,7	0,0	0,0	313,2
1999-2000	17,2	30,4	102,7	70,2	5,6	0,0	6,1	35,2	49,4	0,0	0,0	1,1	317,9
2000-2001	26,8	132,0	62,7	38,6	123,7	125,3	5,5	3,3	17,7	0,0	0,5	0,0	536,1
2001-2002	21,3	19,0	159,6	42,3	2,1	6,7	24,1	72,3	31,7	1,5	0,1	39,8	420,5
2002-2003	2,0	130,0	139,3	9,7	97,1	105,0	33,7	24,4	15,7	0,9	0,0	0,7	558,5
2003-2004	0,7	35,1	41,0	96,2	41,5	19,2	25,1	24,6	70,4	13,4	0,0	0,0	367,2
2004-2005	0,2	49,5	60,7	77,9	23,6	29,7	39,2	22,5	0,8	0,0	0,0	0,8	304,9
2005-2006	4,6	18,0	55,7	34,4	59,6	88,2	18,0	37,4	37,8	2,2	0,0	0,4	356,3
2006-2007	23,2	3,9	10,0	80,0	18,7	37,5	127,9	73,9	0,9	0,0	0,2	0,6	376,8
2007-2008	26,7	125,2	45,2	15,5	21,4	/	15,6	11,4	21,5	0,0	0,0	0,0	282,5
2008-2009	21,3	100,9	93,8	145,3	135,1	24,2	35,3	38,2	10,0	0,5	0,0	0,7	605,3
2009-2010	80,6	1,5	18,7	64,4	114,4	66,1	82,5	22,0	9,9	15,0	0,2	12,0	487,3
2010-2011	3,5	83,9	62,5	24,6	81,6	39,6	24,9	105,1	44,3	8,8	0,0	2,0	480,8
2011-2012	5,2	52,5	154,6	31,2	39,1	30,6	32,0	44,5	8,2	0,3	11,0	/	409,2
<b>Moyenne</b>	16,73	34,99	60,6	39,9	58,4	46,9	41,9	34,1	22,6	4,1	1,4	2,9	<b>362,9</b>

Source: I.T.M.A d'Aïn Temouchent.

## ANNEXE I.B

Précipitations moyennes annuelles et mensuelles sur une courte durée (1995-2012) à la station  
d'Aïn Temouchent.

Années	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
<b>1995-1996</b>	9,2	10,6	26,0	49,4	66,0	83,1	40,6	24,8	25,6	7,7	0,5	1,7	345,2
<b>1996-1997</b>	42,1	11,6	25,2	62,4	124	0,0	0,0	52,5	10,1	1,5	1,0	7,3	337,9
<b>1997-1998</b>	38,7	19,5	90,3	42,7	20,2	38,5	31,2	40,9	30,0	1,1	0,5	1,9	355,5
<b>1998-1999</b>	3,4	9,3	33,9	5,7	142	58,6	58,2	0,0	1,5	0,7	0,0	0,0	313,2
<b>1999-2000</b>	17,2	30,4	102,7	70,2	5,6	0,0	6,1	35,2	49,4	0,0	0,0	1,1	317,9
<b>2000-2001</b>	26,8	132,0	62,7	38,6	124	125	5,5	3,3	17,7	0,0	0,5	0,0	536,1
<b>2001-2002</b>	21,3	19,0	159,6	42,3	2,1	6,7	24,1	72,3	31,7	1,5	0,1	39,8	420,5
<b>2002-2003</b>	2,0	130,0	139,3	9,7	97,1	105,0	33,7	24,4	15,7	0,9	0,0	0,7	558,5
<b>2003-2004</b>	0,7	35,1	41,0	96,2	41,5	19,2	25,1	24,6	70,4	13,4	0,0	0,0	367,2
<b>2004-2005</b>	0,2	49,5	60,7	77,9	23,6	29,7	39,2	22,5	0,8	0,0	0,0	0,8	304,9
<b>2005-2006</b>	4,6	18,0	55,7	34,4	59,6	88,2	18,0	37,4	37,8	2,2	0,0	0,4	356,3
<b>2006-2007</b>	23,2	3,9	10,0	80,0	18,7	37,5	127,9	73,9	0,9	0,0	0,2	0,6	376,8
<b>2007-2008</b>	26,7	125,2	45,2	15,5	21,4	/	15,6	11,4	21,5	0,0	0,0	0,0	282,5
<b>2008-2009</b>	21,3	100,9	93,8	145	135	24,2	35,3	38,2	10,0	0,5	0,0	0,7	605,3
<b>2009-2010</b>	80,6	1,5	18,7	64,4	114	66,1	82,5	22,0	9,9	15,0	0,2	12,0	487,3
<b>2010-2011</b>	3,5	83,9	62,5	24,6	81,6	39,6	24,9	105	44,3	8,8	0,0	2,0	480,8
<b>2011-2012</b>	5,2	52,5	154,6	31,2	39,1	30,6	32,0	44,5	8,2	0,3	11,0	/	409,2
<b>Moyenne</b>	19,2	49	69,5	52,4	65,6	47	35,3	37,2	22,7	3,15	0,8	4,3	<b>403,2</b>

*Source: I.T.M.A d'Aïn Temouchent.*

## ANNEXE II.A

Températures moyennes maximales à la station d'I.T.M.A d'Aïn Temouchent (1995-2012).

Années	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
<b>1995-1996</b>	28,8	28,9	24	19	18,2	14,0	19	20	27,5	27,4	27,6	28
<b>1996-1997</b>	26,8	29,5	18,2	17,7	16,0	16	20	21,2	20	27,0	29	29,3
<b>1997-1998</b>	27	24,5	20,4	21	14	18,8	19	22,0	21,2	28,0	26,0	27,6
<b>1998-1999</b>	30,9	21,5	18,6	15,0	15,4	19,0	18,5	21,0	29,0	32,0	30,5	32,8
<b>1999-2000</b>	27,4	28	18	16,0	15,5	16	19,7	20,8	29,1	30,0	28,0	33
<b>2000-2001</b>	29,7	21,7	19,7	17,8	15,6	14,8	19,7	21,4	30,9	30,4	27,6	32,6
<b>2001-2002</b>	27,8	27,0	16,4	14,6	14,9	17,7	20,0	21,2	23,4	28,2	30,2	29,3
<b>2002-2003</b>	28,8	23,8	19,6	17,6	13,7	14,9	18,5	20,4	25,2	25,1	32,5	32,4
<b>2003-2004</b>	28,9	24,6	20,1	15,8	16,0	16,4	17,7	21,8	24,0	29,6	33,5	33,7
<b>2004-2005</b>	30,8	27,4	17,8	15,4	17,9	14,1	17,3	21,0	28,3	30,3	33,7	21,2
<b>2005-2006</b>	30,2	27,5	19,3	15,9	14,2	15,0	20,4	23,5	26,3	28,5	34,0	33,6
<b>2006-2007</b>	29,4	27,7	22,7	15,4	16,4	20,5	19,2	18,8	26,9	29,0	31,7	32,9
<b>2007-2008</b>	29,0	23,6	18,6	15,7	16,2	/	19,0	23,6	23,3	28,0	36,0	33,1
<b>2008-2009</b>	28,7	23,8	17,8	14,0	13,9	17,0	19,7	21,1	26,1	30,8	34,8	32,7
<b>2009-2010</b>	27,1	26,5	14,6	19,0	15,8	18,1	18,0	21,6	24,6	28,1	34,1	34,0
<b>2010-2011</b>	29,6	23,9	18,9	17,9	15,7	15,5	19,5	23,7	25,8	30,0	33,0	33,8
<b>2011-2012</b>	29,7	25,5	19,7	16,2	15,0	13,3	17,3	19,5	26,5	30,3	32,3	/
<b>Moyenne</b>	28,9	25,6	19,1	17	15,6	16,3	19	21,3	25,8	29	31,4	31,2
												<b>23,3</b>

## ANNEXE II.B

Températures moyennes minimales à la station d'I.T.M.A d'Aïn Temouchent (1995-2012).

Années	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
<b>1995-1996</b>	17,9	18	8,59	10	10,4	8,0	9,6	12,6	12,0	17,2	18,8	19,0
<b>1996-1997</b>	18,0	14,2	12,6	10,0	10,0	9,8	10,0	12,0	15,3	17,0	17,1	22,5
<b>1997-1998</b>	19,4	13	12	9,9	9	8,6	9,6	10,6	11	18,0	19,4	18,0
<b>1998-1999</b>	18,0	12,9	10,5	9,5	8,3	7,0	10,3	13,0	15,0	17,8	22,0	21,7
<b>1999-2000</b>	16,9	17	10,0	7,8	8,5	10,4	10,0	11,0	15,0	17,0	17,3	19,0
<b>2000-2001</b>	17,9	13,9	10,5	10,4	8,7	10,6	12,5	11,2	13,3	18,3	17,3	21,3
<b>2001-2002</b>	19,1	17,0	9,9	9,2	7,6	9,0	10,0	11,4	13,2	17,8	25,6	20,9
<b>2002-2003</b>	19,6	15,1	12,2	10,5	6,9	7,1	10,1	10,7	13,9	19,3	21,9	21,7
<b>2003-2004</b>	18,9	15,7	11,9	8,6	8,3	8,8	8,8	10,6	12,6	18,0	27,4	32,5
<b>2004-2005</b>	19,4	16,7	9,8	7,8	5,5	4,8	9,4	11,2	15,9	16,9	22,4	33,7
<b>2005-2006</b>	18,6	16,9	10,7	8,0	7,0	7,7	10,3	13,0	15,7	17,4	21,2	21,5
<b>2006-2007</b>	18,9	17,08	14,7	9,3	8,3	9,9	8,5	10,6	15,5	18,0	20,6	21,0
<b>2007-2008</b>	18,7	15,3	10,7	8,6	8,1	/	9,3	11,7	14,3	17,2	24,3	22,1
<b>2008-2009</b>	19,6	15,79	10,0	7,0	7,6	7,4	9,3	10,3	14,7	19,2	22,5	21,8
<b>2009-2010</b>	18,9	17,0	8,6	10,7	9,3	9,9	10,2	12,6	14,2	18,1	22,6	22,3
<b>2010-2011</b>	19,4	15,23	11,5	9,7	8,3	7,6	9,6	12,9	16,0	18,7	21,6	22,6
<b>2011-2012</b>	19,5	16,1	12,7	8,7	7,2	5,3	9,4	11,2	14,9	30,4	21,3	/
<b>Moyenne</b>	18,7	15,69	11	9,16	8,2	8,2	9,8	11,6	14,3	18,6	21,4	22,6
												14,1

### ANNEXE III

Inventaire des forages d'eaux dans le bassin versant de Oued El Malah.

(Niveau piézométrique = Altitude "Z" - Niveau statique).

Nom du forage	X(Km)	Y(Km)	Z(m)	Profondeurs du forage(m)	Niveaux Statiques(m)	Niveaux Dynamiques(m)	Niveaux Piézométriques(m)
<i>Ouled Kihel I</i>	146,300	234,500	110	80	15,50	24,55	94,50
<i>Terga I</i>	146,900	237,650	63	43	4,75	14,15	58,25
<i>Ouled Boudjema II</i>	148,050	247,800	67	130	50,00	56,00	17,00
<i>Aghlal</i>	157,200	217,400	585	150	5,30	53,00	579,70
<i>Ain Kihel I</i>	146,500	217,850	495	100	2,60	9,40	492,40
<i>Chentouf</i>	155,500	224,400	324	70	20,00	29,00	304,00
<i>El Malah II</i>	154,700	240,900	68	120	3,40	80,90	64,60
<i>Aoubellil I</i>	165,400	213,700	600	134	29,35	70,92	570,65
<i>Chabaat I</i>	155,200	234,100	140	150	29,00	80,92	111,00
<i>Ouled Kihel III</i>	146,200	234,500	114	118	41,44	51,30	72,56
<i>Bailiche II</i>	150,950	249,000	47	200	19,70	56,24	27,30
<i>Terga III</i>	145,150	242,100	55	161	13,40	23,00	41,60
<i>Bouzadjer II</i>	154,700	255,150	185	147	55,80	57,40	129,20
<i>ENAD</i>	152,500	230,500	209	150	18,00	32,00	191,00
<i>Ain Kihel II</i>	146,100	217,200	500	90	9,81	19,53	490,19
<i>Ain Kihel III</i>	144,700	215,000	500	130	20,00	54,00	480,00
<i>Ain Kihel IV</i>	145,600	218,200	400	130	26,06	39,00	373,94
<i>ITAF</i>	151,200	233,680	190	202	5,00	25,00	185,00
<i>Ain Kihel V</i>	148,350	217,750	482	170	13,35	49,75	468,65
<i>Sidi Mohamed</i>	150,250	221,250	430	134	15,50	38,70	414,50
<i>Barrette</i>	151,300	226,050	270	135	1,60	11,50	268,40
<i>Sidi Boudia</i>	150,600	223,850	335	145	53,93	55,94	281,07
<i>ITAF Bis</i>	151,200	233,050	190	120	5,48	16,92	184,52
<i>Aoubellil III</i>	165,800	213,500	580	120	39,20	70,11	540,80
<i>KALI</i>	166,456	212,900	590	164	24,00	95,00	566,00
<i>Ain Outedda</i>	147,200	228,550	200	155	33,20	/	166,80
<i>Ain Kihel V Bis</i>	148,400	217,850	482	150	34,35	99,94	447,65
<i>Bailiche Bis</i>	151,150	247,750	47	209	24,65	86,46	22,35
<i>AT3</i>	151,300	227,500	265	100	9,90	52,37	255,10
<i>Kéroulis</i>	159,200	236,300	108	210	58,00	60,00	50,00

(Source: DHW d'Ain Temouchent).

## ANNEXE IV

Inventaire des sources d'eau dans le bassin versant d'Oued El Malah.

<i>Source d'eau</i>	<i>X(Km)</i>	<i>Y(Km)</i>	<i>Niveaux Piézométriques(m)</i>
<i>Ain Tounit</i>	151,051	229,870	140
<i>Messaid</i>	155,287	242,127	200
<i>Aghlal source</i>	157,300	217,900	500
<i>Ain Sessal</i>	151,750	254,900	190
<i>S1</i>	149,200	232,600	120
<i>S2</i>	154,500	233,600	133
<i>S3</i>	147,850	227,400	260
<i>S4</i>	155,100	225,350	290
<i>S5</i>	148,750	222,400	380
<i>S6</i>	148,250	218,750	450
<i>S7</i>	151,450	219,800	440
<i>S8</i>	147,750	219,350	450
<i>S9</i>	149,300	218,750	450
<i>S10</i>	147,700	218,350	470
<i>S11</i>	148,200	218,350	490
<i>S12</i>	147,400	216,200	570
<i>S13</i>	147,650	216,000	580
<i>S14</i>	157,300	217,700	490
<i>S15</i>	155,550	223,950	320
<i>S16</i>	154,600	223,150	340
<i>S17</i>	149,250	224,400	325

## ANNEXE V

Inventaire des points d'eau appartenant à la nappe du Plio-Quaternaire (Piézométrie).

("S": Source d'eau).

<i>Point d'eau</i>	<i>X(Km)</i>	<i>Y(Km)</i>	<i>Niveaux Piézométriques(m)</i>	<i>Point d'eau</i>	<i>X(Km)</i>	<i>Y(Km)</i>	<i>Niveaux Piézométriques(m)</i>
<i>Chentouf</i>	155,500	224,400	304,00	<i>S1</i>	149,200	232,600	120,00
<i>Chabaat I</i>	155,200	234,100	111,00	<i>S2</i>	154,500	233,600	133,00
<i>Ouled Kihel III</i>	146,200	234,500	72,56	<i>S3</i>	147,850	227,400	260,00
<i>ENAD</i>	152,500	230,500	191,00	<i>S4</i>	155,100	225,350	290,00
<i>Ain Kihel II</i>	146,100	217,200	490,19	<i>S5</i>	148,750	222,400	380,00
<i>ITAF</i>	151,200	233,680	185,00	<i>S6</i>	148,250	218,750	450,00
<i>Ain Kihel V</i>	148,350	217,750	468,65	<i>S7</i>	151,450	219,800	440,00
<i>Sidi Mohamed</i>	150,250	221,250	414,50	<i>S8</i>	147,750	219,350	450,00
<i>Barrette</i>	151,300	226,050	268,40	<i>S9</i>	149,300	218,750	450,00
<i>Sidi Boudia</i>	150,600	223,850	281,07	<i>S10</i>	147,700	218,350	470,00
<i>ITAF Bis</i>	151,200	233,050	184,52	<i>S11</i>	148,200	218,350	490,00
<i>Ain Outedda</i>	147,200	228,550	166,80	<i>S15</i>	155,550	223,950	320,00
<i>Ain Kihel V Bis</i>	148,400	217,850	447,65	<i>S16</i>	154,600	223,150	340,00
<i>AT3</i>	151,300	227,500	255,10	<i>S17</i>	149,250	224,400	325,00
<i>Ain Tounit</i>	151,051	229,870	140,00				

(Source: DHW d'Aïn Temouchent).

## ANNEXE VI

Données du pompage d'essai de longue durée (forage d'Aghlal).

<i>Temps (s)</i>	<i>Rabattement (m)</i>	<i>Temps (s)</i>	<i>Rabattement (m)</i>	<i>Temps (s)</i>	<i>Rabattement (m)</i>
60	7,33	75600	113,88	169200	118,45
180	10,25	79200	113,90	172800	118,55
300	22,59	82800	113,98	176400	118,63
600	30,92	86400	114,79	180000	118,88
1200	35,78	90000	114,81	183600	118,92
1800	46,98	93600	114,83	187200	119,13
3600	54,36	97200	114,86	190800	119,27
7200	63,89	100800	115,12	194400	119,31
10800	71,44	104400	115,17	198000	119,38
14400	74,61	108000	115,22	201600	119,45
18000	78,76	111600	115,48	205200	119,53
21600	81,47	115200	115,48	208800	119,60
25200	84,09	118800	115,81	212400	119,67
28800	86,88	122400	115,86	216000	119,73
32400	87,98	126000	116,00	219600	119,77
36000	90,77	129600	116,33	223200	119,81
39600	93,66	133200	116,64	226800	119,85
43200	96,44	136800	116,70	230400	119,91
46800	99,23	140400	116,70	234000	119,91
50400	102,20	144000	116,70	237600	119,91
54000	104,95	147600	117,08	241200	119,91
57600	107,66	151200	117,21	244800	119,91
61200	109,85	154800	117,58	248400	119,91
64800	111,98	158400	117,61	252000	119,91
68400	113,22	162000	118,20	255600	119,91
72000	113,63	165600	118,37	259200	119,91

## ANNEXE VII

Données d'essai de pompage de longue durée sur le forage d'Aghlal (descente).

<i>Temps (s)</i>	$\Delta q ((m.s)/m^3)$	<i>Temps (s)</i>	$\Delta q ((m.s)/m^3)$	<i>Temps (s)</i>	$\Delta q ((m.s)/m^3)$
60	523,571	75600	8134,286	169200	8460,714
180	732,143	79200	8135,714	172800	8467,857
300	1613,571	82800	8141,429	176400	8473,571
600	2208,571	86400	8199,286	180000	8491,429
1200	2555,714	90000	8200,714	183600	8494,286
1800	3355,714	93600	8202,143	187200	8509,286
3600	3882,857	97200	8204,286	190800	8519,286
7200	4563,571	100800	8222,857	194400	8522,143
10800	5102,857	104400	8226,429	198000	8527,143
14400	5329,286	108000	8230,000	201600	8532,143
18000	5625,714	111600	8248,571	205200	8537,857
21600	5819,286	115200	8248,571	208800	8542,857
25200	6006,429	118800	8272,143	212400	8547,857
28800	6205,714	122400	8275,714	216000	8552,143
32400	6284,286	126000	8285,714	219600	8555,000
36000	6483,571	129600	8309,286	223200	8557,857
39600	6690,000	133200	8331,429	226800	8560,714
43200	6888,571	136800	8335,714	230400	8565,000
46800	7087,857	140400	8335,714	234000	8565,000
50400	7300,000	144000	8335,714	237600	8565,000
54000	7496,429	147600	8362,857	241200	8565,000
57600	7690,000	151200	8372,143	244800	8565,000
61200	7846,429	154800	8398,571	248400	8565,000
64800	7998,571	158400	8400,714	252000	8565,000
68400	8087,143	162000	8442,857	255600	8565,000
72000	8116,429	165600	8455,000	259200	8565,000

$$Q = 0,014 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Oran,2021**

**Références bibliographiques :**

**Agence Nationale des Ressources hydriques ( ANRH) :**

Annuaire piézométrique de la Plaine de la région d'Ain Témouchent  
Année :2017-2018 .

**BENKRAB Rabeah et SMAHI Soumia M.(2018) :** Extraction des sables et granulats en milieu côtiers(Terga).

**DAOUDA.S ABOU.I(2004)-**Ressource en eau et vulnérabilité des nappes à la pollution (cas de la vallée de l'Oued Sennane Affluent gauche de l'Oued El Maleh Ain- Temouchent.

**Direction de l'hydraulique de la wilaya de Ain Temouchent (2016) :**  
Etude d'aménagement du bassin versant d'Oued El Maleh .

**HEMIDI Mohamed M.(2017) :** Valorisation et protection des ressources en eaux du Bassin Versant d'Oued El Maleh- Ain -Témouchent.

**KADDOU Nour El Houda.( 2017) :** Caractérisation, classification, et Statistique multi variable des eaux de bassin versant de l'Oued El Maleh Ain- Temouchent

**MEKKI Hafida et DAHMANI Mokhtaria M.(2006) :** Apport De La Géophysique A L'étude Hydrogéologique Du plateau De Sidi Safi (Aint-Témouchent ).

**N.AMMAR et K.LAKEI M.(2000) :** Contribution à l'étude Hydrogéologique du grand Bassin Versant De l'Oued El Maleh .

**NAFISSA .M 2012 :** Hydrogéologie du Bassin versant de l'Oued El Maleh

**OUARET FATIMA Zahra M.(2015/2016) :**Dessalement De l'Eau De Mer Et Son Impact Sur L'Environnement : Cas De La station De SHAT El Hillal. W. Ain Témouchent.

**OUCI Nabila M. (2017) :** Impact des granulats sur l'Environnement et les ressources en Eaux : Sablière de Terga et La carrière d'El Maleh.d'exploit et impacts (Oued Maleh w-Ain Témochent ; N.W Algérienne.



